



TUGAS AKHIR – TL 141584

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR FLUIDA  
DAN LAPISAN *RUBBER COATING* TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI PADA PIPA BAJA  
KARBON YANG TERINSULASI BAHAN  
GLASSWOOL DAN ALUMINIUM FOIL**

MUHAMMAD NAUFAL IQBAL  
NRP 27 13 100 141

Dosen Pembimbing:  
BUDI AGUNG KURNIAWAN, S.T., M.Sc.  
TUBAGUS NOOR R., S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



TUGAS AKHIR – TL 141584

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR FLUIDA  
DAN LAPISAN *RUBBER COATING* TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI PADA PIPA BAJA  
KARBON YANG TERINSULASI BAHAN  
GLASSWOOL DAN ALUMINIUM FOIL**

MUHAMMAD NAUFAL IQBAL  
NRP 27 13 100 141

Dosen Pembimbing:  
BUDI AGUNG KURNIAWAN, S.T., M.Sc.  
TUBAGUS NOOR R., S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**EFFECT OF FLUID TEMPERATURE AND RUBBER  
COATING TO CHARACTERISTICS OF  
CORROSION ON CARBON STEEL PIPE  
INSULATED GLASSWOOL AND ALUMINUM FOIL**

MUHAMMAD NAUFAL IQBAL  
SRN 27 13 100 141

Advisor:

BUDI AGUNG KURNIAWAN, S.T., M.Sc.

TUBAGUS NOOR R., S.T., M.Sc.

MATERIALS AND METALURGICAL ENGINEERING  
DEPARTEMENT

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya  
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR FLUIDA  
DAN LAPISAN *RUBBER COATING* TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI PADA PIPA BAJA  
KARBON YANG TERINSULASI BAHAN  
GLASSWOOL DAN ALUMINIUM FOIL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Muhammad Naufal Iqbal**


NRP: 2713100141

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir:

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

.....(Pembimbing I)

Tubagus Noor R., S.T., M.Sc.

.....(Pembimbing II)



# **Analisa Pengaruh Temperatur Fluida dan Lapisan Rubber Coating Terhadap Karakteristik Korosi Pada Pipa Baja Karbon yang Terinsulasi Bahan Glasswool dan Aluminium Foil**

**Nama** : Muhammad Naufal Iqbal  
**NRP** : 27 13 100 141  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung K., S.T., M.Sc.  
Tubagus Noor R., S.T., M.Sc.

Korosi dibawah insulasi merupakan masalah serius bagi dunia industri yang menggunakan pipa terinsulasi untuk mengalirkan fluida panas atau dingin. Korosi dibawah insulasi ini sulit dideteksi karena korosi yang terjadi pada permukaan luar pipa terbungkus bahan insulasi. Dalam penelitian kali ini dicari bagaimana karakteristik korosi yang terjadi pada permukaan pipa yang terinsulasi. Penelitian ini memodelkan bagaimana suatu pipa terinsulasi bekerja pada proses sebenarnya. Pipa yang digunakan adalah pipa baja karbon dan bahan insulasi yang dipakai adalah glasswool dan aluminium foil. Variable yang digunakan adalah temperatur fluida dalam pipa yaitu 45, 55, 65, dan 75°C. Sedangkan variasi lapisan *coating* yang digunakan yaitu tanpa *coating* dan dengan pelapisan *coating*. Jenis lapisan *coating* yang digunakan adalah cat berbasis *rubber* dengan *coating* primer akrilik. Pengujian dilakukan selama empat belas hari agar tercipta korosi pada pipa. Setelah periode pengujian, pipa tersebut di analisa karakteristik korosinya. Hasil pengujian weightloss pada pipa *coating* dan *non-coating* menunjukkan peningkatan laju korosi seiring peningkatan temperatur. Sementara hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa produk korosi yang terbentuk adalah senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sedangkan hasil pengujian mikroskop optik dan SEM menunjukkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan pipa merupakan *uniform corrosion*.

**Kata Kunci:** Korosi dibawah Insulasi, Glasswool, Rubber Coating, SEM, XRD, Weightloss, Mikroskop Optik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# **Effect of Fluid Temperature and Rubber Coating To Characteristics of Corrosion on Carbon Steel Pipe Insulated Glasswool and Aluminium Foil**

**Name : Muhammad Naufal Iqbal**  
**SRN : 27 13 100 141**  
**Advisor : Budi Agung K., S.T., M.Sc.**  
**Tubagus Noor R., S.T., M.Sc.**

Corrosion under insulation is a serious problem for the industry who using insulated pipes to drain hot or cold fluids. Corrosion under this insulation is difficult to detect because the corrosion that occurs on the outer surface of the pipe is wrapped by insulating material. In this research study sought how the corrosion characteristics that occur on the surface of the insulated pipe. This research modeled how an insulated pipe works on the actual process. The pipe which used is carbon steel pipe and the insulation material used is glasswool and aluminum foil. The variables used are fluid temperature in pipes that is 45, 55, 65, and 75oC. While the coating layer variation used is pipe without coating and pipe with coating. Type of coating layer used is rubber-based paint with acrylic primer coating. The test was conducted for fourteen days to create corrosion of the pipe. After the test period, the pipe is analyzed for its corrosion characteristics. The results of weightloss testing on coating and non-coating pipes show an increase in corrosion rate as temperature increases. While XRD test results show that the corrosion products formed are  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , while the results of optical microscopy and SEM testing show that the type of corrosion that arises on the surface of the pipe is a uniform corrosion.

**Keywords: Corrosion under Insulation, Glasswool, Rubber Coating, SEM, XRD, Weightloss, Optical Microscope.**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Pengaruh Temperatur Fluida dan Lapisan *Rubber Coating* Terhadap Karakteristik Korosi Pada Pipa Baja Karbon yang Terinsulasi Bahan Glasswool dan Aluminium Foil**”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Budi Agung K., S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir juga sekaligus dosen wali penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama penulis melaksanakan perkuliahan ini.
3. Tubagus Noor R., S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 18 Juli 2017  
Penulis,

Muhammad Naufal Iqbal  
27-13-100-141

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Definisi Korosi.....	5
2.2 Prinsip Dasar Korosi.....	5
2.3 Faktor Penyebab Korosi.....	7
2.4 Perhitungan Laju Korosi.....	10
2.5 Korosi Dibawah Insulasi.....	11
2.5.1 Mekanisme CUI.....	13
2.5.2 Reaksi Pada CUI.....	14
2.5.3 Faktor CUI.....	16
2.5.4 Jenis Korosi yang Timbul dalam Insulasi.....	18
2.6 Sistem Insulasi.....	20
2.6.1 Jenis Insulasi.....	21
2.6.2 Material Insulasi.....	21
2.6.3 Fungsi Insulasi.....	24
2.6.4 Sifat Insulasi.....	24
2.6.5 Material Glass Mineral Wool.....	25
2.6.6 Standar Penentuan Tebal Insulasi Material Glasswool.....	26
2.6.7 Pemasangan isolasi glasswool untuk pipa.....	26
2.7 Coating (Pelapisan).....	27

2.8	Lapisan Coating Anti-korosi Berbasis Rubber .....	28
2.8.1	Keunggulan lapisan coating berbasis coating ....	28
2.8.2	Aplikasi <i>Rubber Coating</i> .....	29
2.9	X Ray Diffraction .....	29
2.10	Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	30
2.11	Penelitian Sebelumnya.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>35</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2	Bahan dan Alat.....	36
3.2.1	Bahan Penelitian.....	36
3.2.2	Alat Penelitian.....	36
3.3	Spesifikasi Bahan Penelitian.....	36
3.4	Metode Penelitian .....	38
3.4.1	Preparasi Pipa.....	38
3.4.2	Pembungkusan Pipa dengan Glasswool dan Aluminium Foil. ....	39
3.4.3	Perangkaian Penelitian .....	40
3.5	Pengujian .....	41
3.5.1	X Ray Diffraction.....	42
3.5.2	Scanning Electron Microscopic (SEM).....	43
3.5.3	Mikroskop Optik .....	43
3.5.4	Weight Loss .....	43
3.6	Rancangan Pengujian.....	44
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>45</b>
4.1	Analisa Data.....	45
4.1.1	Hasil Pengujian Weightloss .....	45
4.1.2	Hasil Pengamatan Mikroskop Optik .....	48
4.1.3	Hasil Pengujian SEM.....	57
4.1.4	Hasil Pengujian XRD.....	60
4.2	Pembahasan .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>65</b>
5.1	Kesimpulan .....	65
5.2	Saran .....	65

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxxv</b>





## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Corrosion under insulation.....	12
<b>Gambar 2.2</b> Perubahan Kondisi pipa akibat CUI.....	14
<b>Gambar 2.3</b> Mekanisme Terjadinya CUI.....	14
<b>Gambar 2.4</b> Reaksi korosi pada CUI .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Grafik hubungan antara temperatur dan laju korosi .....	18
<b>Gambar 2.6</b> Penyebab Stress Corrosion cracking.....	19
<b>Gambar 2.7</b> Calcium Silicate.....	22
<b>Gambar 2.8</b> Expanded Perlite .....	23
<b>Gambar 2.9</b> Mineral wool.....	24
<b>Gambar 2.10</b> Cellular glass.....	24
<b>Gambar 2.11</b> Ceramic Fiber .....	25
<b>Gambar 2.12</b> Pola Difraksi Sinar X .....	33
<b>Gambar 2.13</b> Mekanisme Kerja SEM.....	34
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Percobaan .....	37
<b>Gambar 3.2</b> Preparasi pipa.....	40
<b>Gambar 3.3</b> Perekatan pipa dengan akrilik.....	41
<b>Gambar 3.4</b> Proses Insulasi pipa dengan glasswool dan aluminium foil.....	42
<b>Gambar 3.5</b> Rangkaian pengujian CUI.....	43
<b>Gambar 3.6</b> (a)X-ray Diffractometer; (b)Scanning Electron Microscope (SEM).....	44
<b>Gambar 4.1</b> Grafik laju korosi pada pipa non-coating.....	
<b>Gambar 4.2</b> Kondisi pipa non-coating: (a) 45 °C; (b) 55°C; (c) 65 °C; (d) 75 °C. ....	52
<b>Gambar 4.3</b> Kondisi pipa coating setelah pengujian pada pipa: (a) 45 °C; (b) 55°C; (c) 65 °C; (d) 75 °C. ....	53
<b>Gambar 4.4</b> Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa non-coating 45°C dengan perbesaran 50 x .....	54
<b>Gambar 4.5</b> Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa non-coating 55°C dengan perbesaran 50 x .....	55
<b>Gambar 4.6</b> Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa non-coating 65°C dengan perbesaran 50 x .....	55

<b>Gambar 4.7</b>	Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa non-coating 75°C dengan perbesaran 50 x .....	56
<b>Gambar 4.8</b>	Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa coating 45°C dengan perbesaran 50 x.....	56
<b>Gambar 4.9</b>	Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa coating 55°C dengan perbesaran 50 x.....	57
<b>Gambar 4.10</b>	Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa coating 65°C dengan perbesaran 50 x.....	57
<b>Gambar 4.11</b>	Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa coating 75°C dengan perbesaran 50 x.....	58
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil uji SEM pipa non-coating 45°C perbesaran 250 x.....	59
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil uji SEM pipa non-coating 55°C perbesaran 250 x.....	59
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil uji SEM pipa non-coating 65°C perbesaran 250 x.....	60
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil uji SEM pipa non-coating 75°C perbesaran 250 x.....	60
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik hasil uji XRD pipa baja karbon pada temperatur operasional fluida 75°C. ....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hubungan laju Korosi dengan Faktor Konstantanya .....	11
<b>Tabel 2.2.</b> Risiko terjadi CUI pada pipa .....	16
<b>Tabel 2.3</b> <i>Range</i> Operasi Termal Insulasi.....	26
<b>Tabel 2.4</b> Properties glass mineral wool.....	28
<b>Tabel 2.5</b> Standar penentuan ketebalan insulasi glasswool .....	29
<b>Tabel 2.6</b> Kondisi pengujian CUI.....	35
<b>Tabel 2.7</b> Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian polarisasi resisten .....	35
<b>Tabel 2.8</b> Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian weight loss.....	35
<b>Table 3.1</b> Spesifikasi dan komposisi baja karbon.....	38
<b>Table 3.2</b> Spesifikasi lapisan coating rubber .....	38
<b>Table 3.3</b> Spesifikasi glasswool.....	39
<b>Table 3.4</b> Rancangan Pegujian .....	46
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji Weightloss pipa baja karbon non coating dengan variasi temperatur operasi .....	49
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Uji Weightloss pipa baja karbon coating dengan variasi temperatur operasi .....	50
<b>Tabel 4.3</b> perbandingan laju korosi pipa coating dan non-coating.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Korosi dibawah insulasi merupakan salah satu masalah yang sangat serius bagi industri yang memakai sistem perpipaan untuk mengalirkan fluida panas atau dingin dari satu titik ke titik yang lain. Insulasi pada pipa ini difungsikan agar temperatur fluida dalam pipa tetap stabil ketika pemindahan, namun efek samping dari pemakaian insulasi tersebut dapat mengakibatkan korosi yang dikenal dengan CUI (*Corrosion Under Insulation*). Sekitar 40-60% biaya pemeliharaan aset di alokasikan Industri untuk menanggulangi masalah korosi dibawah permukaan pada sistem perpipaan (winnik, 2003). Kerusakan pipa yang terserang korosi dibawah insulasi memang berdampak pada banyaknya biaya yang dikeluarkan untuk menanggulangi pemeliharaan aset, berkurangnya volume produksi, kesehatan dan keselamatan pekerja, dan rusaknya lingkungan dimana pipa tersebut rusak akibat korosi dibawah insulasi. Korosi dibawah insulasi memang sangat sulit diamati keberadaannya, karena terjadinya korosi berada diantara permukaan pipa dan bahan insulasi yang di pasang pada permukaan luar pipa, sehingga akses untuk mengeceknya sangat terbatas. Korosi yang timbul terus terjadi hingga pipa tersebut mengalami kerusakan baik kebocoran ataupun patah.

Insulasi pipa juga dibutuhkan untuk mencegah terbuangnya energi panas secara percuma, dan sebagai pelindung manusia yang berada di sekitaran pipa karena temperatur fluida yang mengalir dalam pipa dapat dioperasikan berbeda jauh dari temperatur kamar. Karena memang dunia industri menekankan efisiensi biaya produksi dan keselamatan jalannya produksi, maka di gunakan lah insulasi yang di pasang pada pipa yang beroperasi dengan temperatur tertentu.

Walaupun memang ada metode *non-destructive test* untuk mengukur ketebalan pipa yang terkorosi, metode tersebut belum



bisa mendefinisikan laju dari korosi yang terjadi secara detail seberapa cepat laju korosi yang terjadi dan berapa lagi umur pipa dapat beroperasi (Susan Caines, 2014). Maka dari itu pada penelitian kali ini akan mencoba memodelkan skema terjadinya korosi yang timbul pada pipa yang terbungkus insulasi. Pada penelitian kali ini akan dicari bagaimana karakteristik dari korosi yang timbul. Variabel yang digunakan pada penelitian kali ini adalah temperatur fluida dalam pipa dan juga ketebalan lapisan *coating* pipa yang dikenal dapat menghambat laju korosi.

Variasi temperatur yang di gunakan yaitu 45, 55, 65, dan 75°C. Dan variasi lapisan *coating* yang digunakan yaitu pipa tanpa pelapisan *coating* dan pipa dengan pelapisan *coating*. Jenis lapisan *coating* yang digunakan adalah cat berbasis *rubber* dengan cat primer berbasis akrilik. Material insulasi yang dipakai pada penelitian ini yaitu glasswool dan aluminium foil. Dari variable yang dipakai nantinya akan di kombinasikan agar membentuk suatu rangkaian yang menggambarkan operasional pipa dibawah insulasi pada skala industri. Sedangkan hasil yang diharapkan adalah diketahuinya karakteristik korosi yang timbul pada pipa yang terbungkus insulasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- ) Bagaimana pengaruh temperatur fluida dalam pipa terhadap karakteristik korosi pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi?
- ) Bagaimana pengaruh lapisan *coating* terhadap korosi pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- ) Temperatur fluida dianggap konstan.
- ) Ketebalan *coating* pada pipa dianggap rata.



- ) Insulasi glasswool dan aluminium foil terhadap pipa telah memenuhi standard.
- ) Pengaruh impurities pada lapisan *coating* dan fluida yang mengalir dalam pipa diabaikan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh temperatur fluida terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi glasswool dan aluminium foil.
2. Menganalisis pengaruh lapisan *coating* terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi glasswool dan aluminium foil.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan:

- ) Diketahui karakteristik korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi glasswool dan aluminium foil.
- ) Diketahui pengaruh temperatur terhadap karakteristik korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi glasswool dan aluminium foil.
- ) Diketahui pengaruh lapisan *coating* terhadap karakteristik korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi glasswool dan aluminium foil.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Defini Korosi**

Korosi adalah serangan yang merusak logam melalui bahan kimia atau reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Revie, 2008). Atau korosi dapat diartikan juga sebagai kerusakan material melalui reaksi dengan lingkungan. Beberapa membatasi definisi tersebut dengan hanya terjadi pada logam, tetapi seringkali korosi mempertimbangkan terjadi diantara logam dan non logam.

Korosi bisa terjadi secara cepat maupun lambat. *Stainless steel* dapat terserang korosi dalam beberapa jam hanya dengan *polythionic acid*. Jalur kereta api selalu memperlihatkan permukaan yang berkarat walaupun hal tersebut tidak terlalu mengganggu performanya. Korosi bisa disebut juga sebagai siklus dari suatu baja itu sendiri, kebanyakan *iron ore* memiliki kandungan oksida di dalamnya, dan baja atau besi ketika mengalami korosi oleh air dan oksigen akan menghasilkan oksida juga. Maka korosi bisa dikatakan sebagai reaksi kebalikan dari suatu besi atau baja. (Fontana. 1987)

#### **2.2 Prinsip Dasar Korosi**

Reaksi korosi dapat dianggap sebagai berlangsung oleh dua reaksi simultan: oksidasi logam di sebuah anoda (akhir terkorosi melepaskan elektron) dan pengurangan zat di katoda (akhir dilindungi menerima elektron). Agar reaksi terjadi, kondisi berikut harus ada (Charng, 1982):

1. Perbedaan potensial kimia harus ada antara lokasi yang berdekatan pada permukaan logam (atau antara paduan dari komposisi yang berbeda).
2. Elektrolit harus hadir untuk memberikan solusi konduktivitas dan sebagai sumber bahan harus dikurangi di katoda.



3. Jalur listrik melalui logam atau antara logam harus tersedia untuk memungkinkan aliran elektron.

Korosi adalah reaksi kimia yang dihasilkan dari reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua reaksi setengah sel tersebut terdapat reaksi oksidasi dan reduksi secara berturut turut pada anoda dan katoda. Sedangkan proses korosi dapat terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi sebagai berikut (Jones,1992):

1. Logam atau Material

Didalam logam atau Material itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu:

- 1) Anoda

Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negative terkumpul. Anoda dapat didefinisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Anoda sendiri biasanya terkorosi dengan melepaskan electron elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion ion yang bersangkutan. Pada anoda, logam terlarut dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



Dengan banyaknya elektron yang diambil dari masing masing atom yang ditentukan oleh valensi logam tersebut. Umumnya nilai dari n adalah 1,2 atau 3.

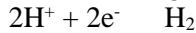
- 2) Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan  $O_2$  dan reduksi  $O_2$ .



) Pelepasan  $H_2$  dalam larutan asam dan netral.

Evolusi hidrogen / larutan asam:

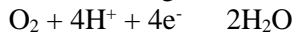


Reduksi air / larutan netral / basa:

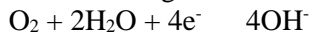


) Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

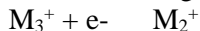
Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa:



) Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



## 2. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik

## 3. Kontak Metallik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

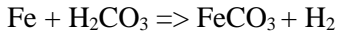
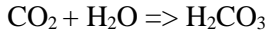
## 2.3 Faktor Penyebab Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (ASM Handbook Volume 13A, 2003):

- a. Faktor gas dan kandungan terlarut



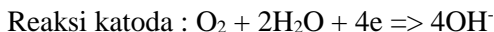
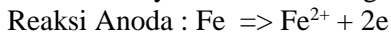
) Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



$\text{FeCO}_3$  merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Asam Asetat), Asam asetat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, dan seng, membentuk gas hidrogen dan garam-garam asetat (disebut logam asetat). Asam Asetat menghasilkan logam etanoat bila bereaksi dengan logam, dan menghasilkan logam etanoat, air, dan karbondioksida bila bereaksi dengan garam karbonat atau bikarbonat.

) Oksigen ( $\text{O}_2$ ), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



) Klorida ( $\text{Cl}^-$ ), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan



menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.

) Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.

) Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

b. Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

c. Faktor pH

pH dalam proses korosi sangat berpengaruh untuk terjadi apa tidaknya proses korosi. Besarnya pH biasanya dinyatakan dengan angka berkisar antara 0-14. Jika pH berkisar antara 0-7 maka lingkungan bersifat asam sedangkan bila pH berkisar antara 7-14 maka lingkungan bersifat basa. Lingkungan dinyatakan netral bila memiliki pH 7. Sedangkan untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan pada  $\text{pH} > 13$ .

d. Faktor Bakteri Pereduksi

Padaa khusus tertentu pada lingkungan bisa hidup sejenis bakteri anaerobic yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat



asam. Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $H_2S$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

e. Faktor Aliran Fluida

Aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang disebut erosi. Bagian yang kasar dan tajam yang akan mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi.(Bayuseno.2012) .Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi . Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.

## 2.4 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi adalah weight loss.

Metode kehilangan berat adalah metode paling sederhana dan paling mudah daripada semua metode pengukuran laju korosi yang lain. Dalam metode ini dimensi awal seperti panjang, diameter dan berat spesimen diukur secara akurat. Kemudian spesimen ditanam dalam media korosif selama beberapa hari. Spesimen akan mendapatkan reaksi dengan lingkungan pada durasi tertentu sehingga dapat spesimen akan mengalami kehilangan berat. Setelah durasi paparan tertentu spesimen dikeluarkan dari media korosif kemudian dibersihkan dan ditimbang.

Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$L \quad k \quad = \quad \frac{K.W}{D.A.T} \dots \dots \dots (2.1)$$



dimana :

K = konstanta ( $\text{mpy} = 3.45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas ( $\text{gram/cm}^3$ )

A = luas permukaan yang terendam ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu (jam)

Dengan Pengkonversian unit satuan laju korosi dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Hubungan laju Korosi dengan Faktor Konstantanya (ASTM G31-72)

Desired Corrosion Rate Unit (CR)	Area Unit (A)	K-Factor
Mils/years(mpy)	$\text{In}^2$	$5.44 \times 10^6$
Mils/years(mpy)	$\text{cm}^2$	$3.45 \times 10^6$
Milimeters/years(mpy)	$\text{cm}^2$	$8.75 \times 10^4$

MPY adalah perhitungan kecepatan korosi yang paling populer di amerika seerikat, meskipun ditambahkan penggunaan metric units di beberapa tahun belakangan ini. Konversi Ke Equivalent Metric Penetration Rate sebagai berikut :

$1\text{mpy} = 0,0254\text{mm/yr} = 25,4\mu\text{m/yr} = 2,90\text{mm/h} = 0,805\text{pm/yr}$ .

## 2.5 Korosi Dibawah Insulasi (CUI)

Korosi dibawah insulasi (CUI) adalah jenis korosi yang menjadi masalah utama yang nyata dan sangat berbahaya di lingkungan industri *Oil and Gas* yang menggunakan fasilitas pipa uap air yang terisolasi sebagai sarana pendukung proses produksi. Oleh karena itu berdasarkan API 570, telah menempatkan bahwa jenis korosi di bawah isolasi ini menjadi perhatian khusus dan utama untuk lingkungan industri petroleum dan petrokimia yang memanfaatkan energi panas dalam proses produksinya (M. Syahril, 2005).



Korosi jenis ini merupakan korosi yang terjadi pada bagian yang terinsulasi atau terisolasi, korosi yang terbentuk adalah *localized corrosion*. Pada umumnya jenis korosi ini akan memberikan efek terhadap kondisi pipa yaitu terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*) dan korosi induksi tegangan (*stress corrosion cracking*) yang dapat menyebabkan terjadi kegagalan pada material pipa tersebut. CUI sulit ditemukan karena letaknya didalam insulasi pipa dan crack terjadi secara perlahan tanpa terlihat perubahan secara significant, sehingga jenis korosi ini seakan mendadak dan dapat menimbulkan kebocoran dengan potensial bahaya yang tinggi.



**Gambar 2.1** *Corrosion Under Insulation* (Rasmussen, 2015)

Fenomena korosi ini terjadi akibat terjerbaknya air di dalam insulasi sehingga menyebabkan proses korosi berlangsung. Kebanyakan logam seperti baja, nikel, tembaga dan seng mengalami kelembaman relatif besar dari 60%. Jika kelembaman lebih dari 80% maka baja menjadi higroskopik dan laju korosi meningkat. Laju korosi pada pipa yang diinsulasi dapat meningkat 20 kali lebih cepat dibandingkan dengan yang tidak diinsulasi.

CUI umumnya menyerang pada material carbon steel tetapi ada juga yang menyerang stainless steel. Perpipaian yang





memerlukan pemeriksaan untuk mengidentifikasi ada atau tidaknya korosi dibawah insulasi adalah perpipaan yang terinsulasi yang beroperasi dalam temperatur  $-12^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $175^{\circ}\text{C}$  untuk material carbon steel dan low alloy steel, sedangkan  $60^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $205^{\circ}\text{C}$  untuk stainless steel. (W.J. Batty,2006)

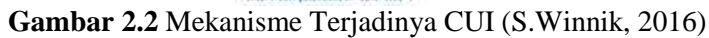
Pada baja karbon dan baja paduan rendah cenderung mengalami serangan korosi merata (*uniform corrosion*) akibat asam atau lingkungan yang lembab. Pada korosi merata ini tidak dapat dibedakan sepenuhnya antara daerah anodic ataupun katodiknya dan korosi ini menyebabkan terkikisnya permukaan logam. Korosi semacam ini biasanya ditemukan dimana logam kontak dengan asam atau larutan garam. Apabila ada larutan nitrat atau air laut terjebak didalam insulasi maka akan menyebabkan stress retak korosi (*stress corrosion cracking*). SCC adalah fenomena kegagalan pada paduan yang terjadi dengan perambatan retakan di lingkungan korosif.

### **2.5.1 Mekanisme CUI**

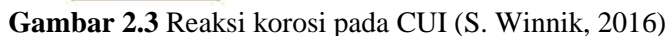
Korosi yang terjadi pada pada pipa yang terinsulasi ini diawali dengan adanya air yang masuk atau terperangkap pada suatu titik dimana adanya insulasi yang rusak yang menyebabkan pipa tidak tertutup sempurna, air tersebut terperangkap dan menyebabkan factor utama terjadinya CUI (*Corrosion Under Insulation*).

Pada dasarnya proses atau mekanisme korosi dibawah insulasi akan terjadi dengan melibatkan tiga persyaratan, yaitu:

1. Ketersediaan oksigen
2. Temperatur
3. Konsentrasi dari jenis unsur-unsur substansi korosif

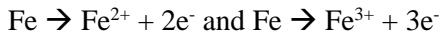


CUI merupakan reaksi elektrokimia, membutuhkan 4 elemen; anoda, katoda, elektrolit dan kontak metalik. Elektrolit dalam bentuk paling sederhana merupakan air yang mengandung oksigen, dimana ada kemungkinan terdapat zat yang korosif sehingga mempercepat laju korosi. Gambaran sederhana dari reaksi elektro kimia yang terjadi pada CUI dapat dilihat pada gambar dibawah.

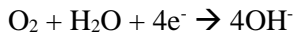




Reaksi oksidasi



Reaksi Reduksi



$\text{OH}^-$  bereaksi dengan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2/\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai produk korosi.



Pada keadaan normal, saat temperatur meningkat, jumlah oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembaban yang relative tinggi sehingga terjadi pengembunan pada celah antara dua permukaan tersebut. Sehingga bagaimana pun bentuk yang terjadi dibawah insulasi akan memberikan peluang terjadinya proses korosi akibat perbedaan konsentrasi kondisi material baja, dan proses korosinya akan lebih meningkat jika adanya unsur-unsur yang bersifat korosif seperti chloride dan asam belerang dari udara yang berdifusi melalui celah-celah insulasi. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi dengan proses sesuai dengan karakteristik material tersebut (M. Suresh Kumar, 2008).

Uap air yang terperangkap biasanya menggenang di bawah pipa. Oleh karena itu, corrosion under insulation umumnya terjadi di bagian bawah pipa. CUI ini akan menjadi lebih cepat karena uap air akan terus terperangkap tanpa terjadinya penguapan karena terhalang oleh insulasi, selain itu insulasi ini juga dapat menyebarkan atau mengalirkan uap air ke lokasi lain sehingga korosi menyebar secara lebih cepat.

Risiko terjadinya CUI pada temperatur kerja pipa 50°C sampai dengan 175°C lebih besar dari pada temperatur kerja lainnya dengan kondisi yang sama. risiko terjadinya CUI juga semakin besar dengan meningkatnya adanya kemungkinan



insulasi bocor dan menyebabkan air dan udara masuk ke dalam insulasi dan beraksi dengan pipa (NACE JUBAIL, 2015).

**Tabel 2.2.** Risiko terjadi CUI pada pipa  
(Shell DEP 30.46.00.31-Gen., 2011)

Operating temperature	CUI risk
< -5 °C (25 °F)	Low
> 175 °C (347 °F)	Low
-5 to 49 °C (25 to 121 °F)	Medium
50 to 175 °C (122 to 347 °F)	High
Cycling temperatures between -20 and 320 °C (-4 and 608 °F)	Extreme

### 2.5.3 Faktor CUI

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi terjadinya CUI, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Air

Korosi dibawah insulasi digolongkan sebagai korosi atmosferik dengan factor penyebab air. Air yang mungkin berasal dari hujan, kabut, atau pengembunan akibat kelembaban relatif tinggi.

#### 2. Kandungan bahan kimia dalam air

Laju dan tingkat serangan CUI biasanya ditentukan oleh konduktivitas elektrolit yang bergantung pada kadar bahan pengotor yang terlarut. Bahan pengotor ini berbeda-beda, dari karbon dioksida (membentuk larutan agak asam), ion-ion ammonium, serta ion-ion klorida di lingkungan laut.

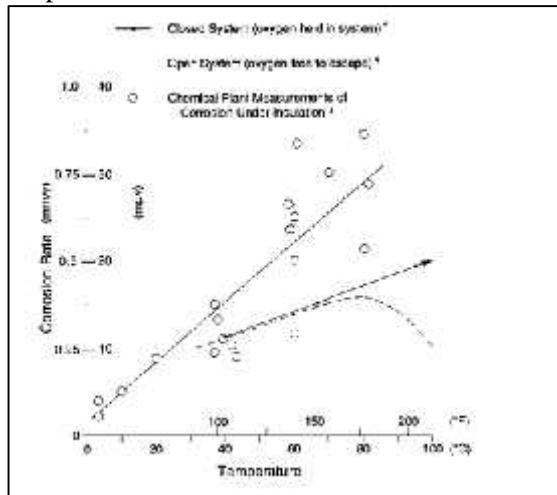
#### 3. Kandungan bahan kimia dalam udara

Tingginya tingkat laju korosi yang terjadi juga diakibatkan adanya factor dari lingkungan dimana system bekerja. Adanya



udara yang bercampur dengan sulfur, chloride ataupun unsur lain yang dapat menjadikan lingkungan lebih korosif.

#### 4. Temperatur



**Gambar 2.4** Grafik hubungan antara temperatur dan laju korosi (S. Winnik, 2016)

Temperatur berpengaruh terhadap korosi melalui dua cara:

- Peningkatan temperatur biasanya diikuti oleh peningkatan laju reaksi. Temperatur servis antara 32°F dan 212°F (0°C dan 100°C) memungkinkan air masih dalam bentuk cair. Dengan range temperatur tersebut, laju korosi akan naik dua kali setiap kenaikan temperatur 27°F sampai 36°F (15°C sampai 20°C).
- Perubahan temperatur berpengaruh terhadap kelembaban relatif dan dapat menyebabkan pengembunan pada titik embun (dew point condensation). Jika temperatur turun lebih rendah dari titik embun, udara menjadi jenuh dengan uap air dan titik-titik air akan mengendap pada setiap permukaan yang terbuka. Pengembunan bisa terjadi di semua permukaan yang cukup dingin, baik di



luar maupun di dalam insulasi. Titik-titik air dapat menggenang pada tempat-tempat tertentu dan membentuk kolam elektrolit yang tersembunyi dalam suatu struktur sehingga korosi terjadi di tempat yang tidak diperkirakan.

Pada gambar 2.4 diatas dapat dilihat hubungan antara temperatur dan laju korosi, perbedaannya lebih ditunjukkan pada perbedaan sistemnya yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Lebih jelasnya maka dapat dilihat pada keterangan dibawah:

1. Pada Sistem Terbuka

Pada sistem terbuka dapat diketahui dengan kenaikan temperatur maka laju korosi akan meningkat namun akhirnya kembali menurun. Ini dikarenakan air yang tersisa akan menguap sehingga tidak ada air yang terjebak di dalam system.

2. Pada Sistem Tertutup

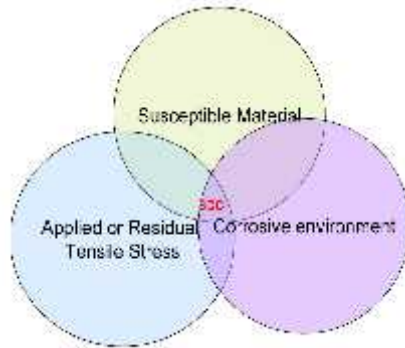
Sistem Ini berbeda dengan system terbuka, pada system ini dengan kenaikan temperatur maka laju korosi akan meningkat atau dapat dikatakan bahwa temperatur sebanding dengan laju korosinya. Karena pada system ini air tidak dapat menguap secara sempurna dan akan terjebak di dalam system.

### **2.5.4 Jenis Korosi yang Timbul dalam Insulasi**

Pada kejadian aktual di lapangan dan juga penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah di dapatkan jenis jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa yang dibungkus insulasi, diantaranya adalah (Susan Caines, 2014):

1. *Stress Corrosion Cracking*

*Stress Corrosion Cracking* (SCC) merupakan masalah di banyak industri dan lingkungan. Semua bentuk SCC tergantung pada kehadiran tiga faktor seperti ditunjukkan pada Gambar berikut:



**Gambar 2.5** Penyebab *Stress Corrosion cracking*  
(S. Caines, 2014)

SCC dibawah insulasi adalah masalah di lingkungan laut (Delahunt, 2003). Babakr dan Al-Subai (2006) membahas dua studi kasus yang melibatkan SCC bawah isolasi di Proses perpipaan. Mereka menemukan bahwa akumulasi klorida pada pipa lepas pantai dengan waktu berkontribusi pada penciptaan SCC lingkungan rentan (Babakr dan Al-Subai, 2006).

## 2. Korosi Seragam/ Permukaan

Korosi seragam adalah degradasi logam pada seluruh daerah yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Ini adalah reaksi yang berkelanjutan antara anoda dan katoda di atas permukaan yang menyebabkan degradasi logam yang relatif seragam pada permukaan logam (Davis, 2000). Korosi seragam umumnya lebih mudah di ketahui dan lebih mudah untuk diukur karena korosi terjadi di seluruh wilayah permukaan (Buschow et al., 2001).

Bahan seperti baja karbon yang tidak membentuk lapisan pasif alami lebih rentan terhadap jenis korosi ini. Metode pelapisan / *coating* merupakan metode yang sering digunakan untuk memperlambat korosi seragam ini. Metode ini dapat melindungi aset dari korosi seragam. Namun, setiap kerusakan yang terjadi



pada lapisan *coating* dapat meningkatkan kemungkinan korosi lokal seperti korosi pitting yang menyebabkan kegagalan bencana tak terduga dari komponen proses.

### 3. Korosi sumuran / *Pitting Corrosion*

Pitting adalah jenis yang paling umum dari korosi lokal (Roberge, 2008). Ini adalah bentuk korosi dimana degradasi material terlokalisir ke daerah-daerah kecil dan tidak di seluruh permukaan. Menurut Schumacher (1979) beberapa logam terkena lingkungan korosif akan mengembangkan lubang karena partikel garam atau kontaminan lainnya. Faktor-faktor lain dapat berkontribusi untuk pitting termasuk:

- a. inklusi
- b. Diskontinuitas dalam lapisan pelindung (baik alam dan diterapkan)
- c. cacat permukaan

Bahan yang paling mungkin untuk mengembangkan lubang umumnya dilapisi atau secara alami dilindungi.

### 4. Korosi Akibat Mikrobiologi (MIC)

Mikroorganisme termasuk bakteri yang ditemukan dalam fluida dan organisme ini dapat berkontribusi terhadap degradasi material. Mekanisme degradasi ini disebut Mikroba Mempengaruhi Korosi (MIC). Biofilm dapat terbentuk pada permukaan struktur dan dapat mempengaruhi laju korosi, memulai korosi, atau mengubah modus korosi (Duan et al., 2008). Pembentukan biofilm tidak menjamin efek pada korosi atau CUI khususnya, namun, dalam lingkungan laut; itu adalah mekanisme yang mungkin yang harus dipantau.

## 2.6 Sistem Insulasi

Insulasi / isolasi biasanya diterapkan untuk pipa, kapal, dan peralatan di industri petrokimia untuk menjaga suhu proses. Dalam beberapa fasilitas, isolasi juga digunakan untuk melindungi personel dari permukaan yang panas. Bahan isolasi





termal adalah bahan umumnya berpori (mampu menyerap kelembaban), termasuk mineral wol, foam glass, aerogels, dan polimer foam. Isolasi di lapisi pada pipa untuk mencegah kerusakan fisik. Isolasi dan cladding material dipilih berdasarkan kinerja versus biaya. Sistem isolasi (isolasi dan cladding) harus diperhitungkan seefektif mungkin sehingga biaya yang dikeluarkan pelaku industri untuk pemasangan sistem isolasi ini sebanding dengan tujuan yang ingin dicapai.

### **2.6.1 Jenis Insulasi**

#### **a. Insulasi kering**

Insulasi kering memerlukan penghalang (barrier) luar untuk mencegah water ingress (pipe-in-pipe)

#### **b. Insulasi basah**

Insulasi basah tidak memerlukan penghalang (barrier) luar untuk mencegah water ingress, atau keberadaan water ingress diabaikan karena tidak menurunkan sifat insulasi

### **2.6.2 Material Insulasi**

Menurut standar NACE RP0198-98 “The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Material”, material insulasi diklasifikasikan menjadi delapan kategori, yaitu:

#### **1. Calcium Silicate**

Calcium silicate merupakan insulasi kaku yang tersusun dari hydrous calcium silicate dan biasanya bergabung penguat fiber. Calcium silicate diperuntukan sebagai insulasi temperatur tinggi. Pada temperatur ambient dapat menyerap sampai 400% dari beratnya saat dicelupkan ke air. Bersifat higroskopis dan akan menyerap 20% sampai 25% berat air pada kondisi lembab dari kehadiran uap air pada udara.

#### **2. Expanded perlite**

Expanded perlite tersusun dari inorganic silicate binders, fibrous reinforcement dan tambahan silicone water resistant.



Termasuk dalam material yang kaku sebagai pelapis pada pipa. Material ini digunakan untuk insulasi temperatur moderate sampai tinggi. Pada temperatur rendah, penambahan untuk ketahanan air memberikan perlindungan dari air. Pada temperatur tinggi sekitar 135 C jenis insulasi ini kemampuan tahan terhadap air akan berkurang.

### 3. Mineral Fibers

Jenis ini secara umum disebut seperti batuan, slag atau glass yang diperoleh dari bagian leleh menjadi bentuk fibre dan mengandung pengikat organik. Umumnya digunakan dari temperatur ambient sampai tinggi (-25oC sampai 200oC). Bergantung dari jenis pengikatnya kemampuan insulasi fiber dapat digunakan untuk mencegah adanya air. Insulasi ini baik dalam menyebarkan uap air dan larutan korosif ke permukaan baja, serta memperbolehkan air merembes untuk menguap. Gagalnya proses pemasangan sambungan pada insulasi ini merupakan area yang berbahaya karena uap air dapat berpindah tempat ke sistem insulasi.

### 4. Cellular glass

Cellular glass adalah material blok kaku yang berbusa di bawah cair untuk membentuk struktur sel tertutup. Biasanya digunakan di bawah temperatur ambient sampai temperatur tinggi. Cellular glass tahan air dan menahan dalam sejumlah kecil air pada sambungannya yang tidak terpasang dengan baik. Air masuk melalui retau atau sambungan pada system insulasi dapat menjangkau permukaan logam dan dapat menyebabkan korosi dan SCC.

### 5. Organic Foam

Tipe yang paling banyak digunakan di industri termasuk polyurethane, polyisocyanurate, flexible elastomeric, dan phenolic. Polystyrene dan polyolefin jarang digunakan karena keterbatasan temperatur. Organic foam digunakan pada aplikasi



dengan temperatur yang sama dengan cellular glass. Jenis insulasi ini mengandung berbagai macam unsur, seperti klorida, flourida, silikat dan ion sodium yang terlepas. Hal tersebut menjadikannya perhatian khusus karena dapat mempercepat laju korosi saat pengaplikasiannya.

#### 6. Ceramic fiber

Menurut ASTM, ceramic fiber terpisah dari mineral fiber buatan manusia. Umum digunakan pada aplikasi temperatur tinggi. Penggunaan insulasi ini jarang digunakan pada temperatur rendah karena terbatas dengan harganya yang tinggi.

#### 7. Prefabricated systems

Banyak produk di pasaran menggabungkan material insulasi dengan berbagai aksesoris untuk menghasilkan prefabricated systems dengan tujuan menaikkan efisiensi instalasi atau keseluruhan performa servis. Seluruh komponen dari system harus dipertimbangkan untuk aplikasi yang unggul.

#### 8. Historical material

Material yang sudah tidak lama dimanufaktur, atau jarang digunakan belakangan ini, mungkin diperhatikan dalam system yang ada.

**Tabel 2.3** Range Operasi Termal Insulasi  
(<http://www.idpipe.com>)

Insulation Material	Temperature Range			
	Low		High	
	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)
Calcium Silicate	-18	0	600	1200
Cellular Glass	-100	-450	400	800
Polystyrenic foam	-55	-70	120	250
Fiberglass	30	20	540	1000
Mineral Wool (Commercial)			1300	2300
Mineral Wool Glass	0	32	250	480
Mineral Wool Stone	0	32	700	1400
Phenolic foam			150	300
Polyisocyanurate, polyiso	100	200	150	300
Polystyrene	-50	-50	75	165
Polyurethane	-210	-350	120	250
Vermiculite	-272	-458	700	1400



### **2.6.3 Fungsi Insulasi**

Untuk aplikasi umum insulasi diberikan bertujuan untuk (Batty, 2006):

1. Menjaga temperatur selalu konstan  
Pada pipa yang didalamnya mengangkut uap atau fluida dengan temperatur tertentu dibutuhkan suatu alat pembantu untuk menstabilkan temperaturnya sehingga tidak memungkinkan untuk terjadinya Shock Thermal.
2. Peredam Panas  
Pipa yang memiliki temperatur tinggi diberikan insulasi untuk mengurangi panas yang dihasilkan pada permukaan yang dapat mengganggu kinerja instrument lain.
3. Menghindari kebakaran  
Dengan adanya insulasi maka apabila adanya kebakaran yang terjadi maka ini dapat melindungi pipa dari keadaan diluarnya.
4. Proteksi panas  
Menggunakan insulasi dapat melindungi pekerja terhadap panas yang dihasilkan oleh pipa sehingga factor keamanan dapat tercapai.

### **2.6.4 Sifat Insulasi**

Ditinjau dari fungsinya maka sifat-sifat insulasi yang paling penting antara lain:

1. Konduktifitas Termal  
Makin rendah nilai konduktifitas termal, makin baik insulasi dalam mencegah perpindahan panas.
2. Kekuatan Material  
Material insulasi harus mampu menahan beban atau getaran dalam aplikasinya, penanganan, tumpukan tinggi dalam penyimpanan, atau banyaknya getaran saat pengapalan.
3. Ketahanan Terhadap Uap Air  
Pada material yang berpori, ruang udara dapat terisi dengan cepat dengan air. Material harus memiliki sifat penyerapan



yang rendah serta harus memiliki kemampuan untuk mengeringkan.

#### 4. Ketahanan Terhadap Api

Material insulasi harus dapat menahan posisi dan bentuknya saat kebakaran terjadi, dan juga tidak menjadi bahan bakar yang dapat memperbesar api serta mengeluarkan asap dan gas beracun. Selain itu juga memiliki kemampuan untuk menyerap kebakaran atau cairan beracun.

### 2.6.5 Material Glass Mineral Wool

Berikut merupakan propertis dari mineral glasswool:

**Tabel 2.4** Properties glass mineral wool  
(Thermal Insulation Handbook, 2001)

GLASS MINERAL WOOL			
1	Density (and range, if applicable)	10 to 80 kg/m <sup>3</sup>	
2	Thermal Conductivity	Thermal conductivity (W/mK), or density indicated below	
	Mean temp °C	10 kg/m <sup>3</sup>	40 kg/m <sup>3</sup> 80 kg/m <sup>3</sup>
	-20	0.031	0.028 0.028
	10	0.032	0.031 0.031
	20	0.040	0.032 0.032
	50	0.047	0.035 0.035
	80	0.055	0.044 0.042
3	Service Temperature range	- 200 to 450 °C	
4	Reaction to Fire Characteristics	Non Combustible	
	a. Combustibility to BS 476 part 4	Non Combustible	
	b. Surface spread to flame to BS 476 part 7	Class 1	
	Insulation (if appropriate)	Class 1	
	Composite finish (if appropriate)	Class 1	
	Foil faced products (if appropriate)	Class 1	
	c. Building Regulations	Class 0	
	Insulation (if appropriate)	Class 0	
	Composite finish (if appropriate)	Class 0	
	Foil faced products (if appropriate)	Class 0	
5	Water Vapour Transmission	N/A	
	Insulation (if appropriate)	N/A	
	Composite finish/foil faced product (if appropriate)	0.001g/s M20	
6	Mechanical Properties	1 to 8 kN/m <sup>2</sup> at 50% deformation	
	a. Compressive strength	N/A	
	b. Flexural strength	N/A	
	c. Tensile strength	N/A	
7	Thickness Range	Available from 15 to 150mm	
8	Forms available	Blank Fibre, Pipe Sections, Rolls, Slabs	
TYPICAL USES AND APPLICATIONS			
Glass mineral wool is available in a wide range of forms ranging from flexible rolls to rigid slabs and preformed pipe sections. It is particularly suitable for thermal and acoustic applications in the H & V sector and is also used as both a thermal and an acoustic insulation in transport, shipping, building and industrial applications.			



### 2.6.6 Standar Penentuan Tebal Insulasi Material Glasswool

Dibawah ini merupakan standar yang digunakan untuk menentukan ketebalan bahan insulasi jenis glasswool berdasarkan temperatur operasi:

**Tabel 2.5** Standar penentuan ketebalan insulasi glasswool (Norsok Standard, 1999)

DN mm	Maximum operating temperatures °C							
	100	150	200	250	300	350	400	420
20	30	30	30	30	50	50	50	50
25	30	30	30	30	50	50	50	50
32	30	30	30	30	50	50	50	50
50	30	30	30	30	50	50	80	80
65	30	30	30	30	50	80	80	80
80	30	30	30	30	50	80	80	80
100	50	50	50	50	50	80	80	100
150	50	50	50	50	80	80	80	100
200	50	50	50	50	80	80	80	100
250	50	50	50	50	80	80	100	100
300	50	50	50	50	80	80	100	100
350	50	50	50	50	80	80	100	100
400	50	50	50	50	80	80	100	100
450	50	50	50	50	80	80	100	100
500	50	50	50	50	80	80	100	100
600	50	50	50	50	80	80	100	100
Above 600 and flat surface	50	50	80	80	100	100	100	150

### 2.6.7 Pemasangan isolasi glasswool untuk pipa

Perlakuan pada pipa yang harus diterapkan sebelum dibungkus insulasi adalah sebagai berikut (NORSOK Standard, 1999):

- ) Pipa dan bahan isolasi harus benar-benar rekat dan kunci dengan *band*.
- ) Isolasi harus di kunci dengan *band* pada lapisan luar di setiap sisi sendi radial dan di pusat setiap bagian.



- ) Spasi *band* untuk lapisan dalam isolasi multi layer hanya perlu cukup untuk menahan bagian di tempat sampai lapisan luar terkunci.
- ) Untuk menutupi siku dan permukaan tidak teratur lainnya, bagian dapat dipotong dan dipasang di lapangan.

## 2.7 Coating (pelapisan)

Pelapisan (*coating*) adalah proses penambahan atau penumpukan suatu material ke suatu permukaan material lain (atau material yang sama). Pada umumnya pelapisan diterapkan ke suatu permukaan dengan tujuan untuk:

1. Melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak).
2. Untuk meningkatkan penampilan permukaan.
3. Untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain (Pawlowski, 2008).

Sistem pelapisan digunakan untuk melindungi material dari serangan korosi secara ekstensif. Pemilihan jenis material dan metode *coating* harus memperhatikan beberapa faktor. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :

1. Logam pelapis harus lebih tahan pada lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori

Pelapisan terdiri dari beberapa metode pelapisan dan pemilihan metode pelapisan didasarkan pada bentuk, ukuran,



kemampuan adaptasi material terhadap metode yang digunakan, tingkat adhesi dan ketersediaan alat (Prawara, 2006).

*Coating* harus memberikan penghalang secara terus-menerus pada substrat, sebab ketidak sempurnaan *coating* bisa menyebabkan degradasi dan korosi pada substrat (Hill, 2000). Tingkat proteksi dari pelapisan tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis pelapisan, substrat logam dan preparasi permukaan. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :

1. Logam pelapis harus lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori

## 2.8 Lapisan Coating Anti-korosi Berbasis Rubber

### 2.8.1 Keunggulan lapisan coating berbasis coating

Keunggulan lapisan coating berbasis coating diantaranya:

- ) Tidak perlu campuran komponen lain
- ) Pengeringan Cepat pada temperatur kamar
- ) *Self-Priming* (Tidak perlu dilapisi lapisan primer terlebih dahulu)
- ) Tangguh & *Scratch-proof*
- ) Tahan Api - BS-163
- ) Resistensi yang sangat baik untuk U.V. Radiasi
- ) Resistensi terhadap Asam, alkali & lingkungan garam.
- ) Tersedia dalam beberapa tingkatan Heat-Resistance & konduktifitas panas





- ) Mudah untuk diterapkan dengan teknik Brush & semprot konvensional.
- ) Tidak ada kebutuhan skill khusus bagi pekerja.
- ) Berlaku pada logam Ferrous & Non-ferrous.

### 2.8.2 Aplikasi *Rubber Coating*

Rubber coating ini dapat di aplikasikan pada:

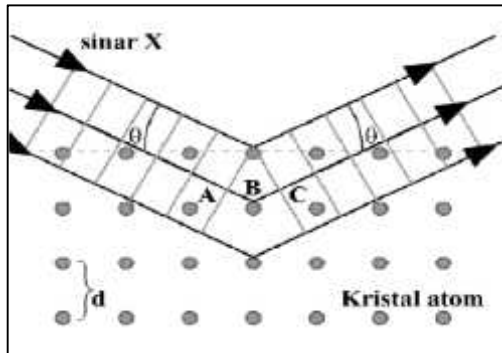
- ) Peralatan *Structural Steel*
- ) Industri Katup, Mesin & Pompa
- ) Kontrol Panel, Transformers
- ) *Pipe Lines, Tank Storage*

## 2.9 X-Ray Diffraction

Difraksi sinar X atau *X-Ray Diffraction* merupakan suatu instrument untuk mengidentifikasi suatu fasa dan struktur Kristal dari suatu material dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Cara kerja instrumen tersebut ialah sinar X dari sebuah generator ditembakkan ke permukaan sampel. Sinar yang mengenai permukaan sampel akan mengeksitasi elektron pada kulit terluar sehingga terjadi vakansi. Kekosongan pada kulit yang diakibatkan akan diisi oleh elektron pada tingkat energi yang lebih tinggi. Selama masa transisi ini terjadi radiasi yang akan ditangkap oleh detector dan diterjemahkan dalam bentuk kurva intensitas dan sudut. Kondisi refleksi sinar X dirumuskan dalam persamaan Bragg:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

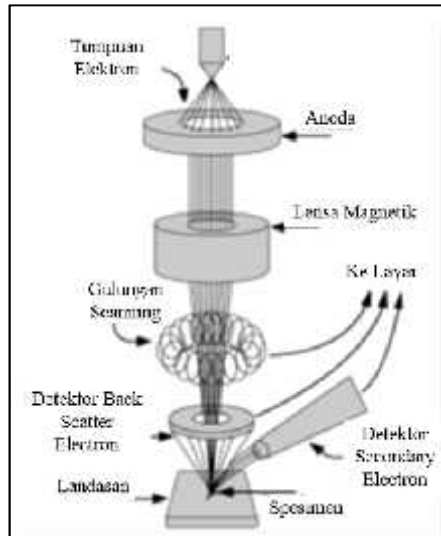
Data XRD berupa kurva intensitas (*counts/intensity*) dan besar sudut ( $2\theta$ ) hamburan sinar.



**Gambar 2.6** Pola Difraksi Sinar X (Listyana, et al. 2016)

## 2.10 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan salah satu mikroskop elektron yang menunjukkan topografi suatu material dengan memindainya dengan pancaran elektron. Elektron berinteraksi dengan atom pada permukaan sampel sehingga menghasilkan berbagai sinyal yang menghasilkan topografi permukaan dari sampel. Sampel yang digunakan harus bersifat konduktor. Perbesaran gambar SEM dapat mencapai 100.000 kali karena resolusi mencapai 1,5 nm pada 30kV. Cara kerja SEM ialah dengan menembakkan elektron ke spesimen. Gambar 3.10 menunjukkan mekanisme kerja SEM. Elektron yang dipancarkan diperkuat oleh kumparan atau *scanning cells* dan difokuskan pada fineprobe. Pancaran tersebut akan terhambur dan ditangkap oleh *Backscatter Electron* (BSE) dan *secondary electron detector*. Kemudian diteruskan pada layar. Dengan adanya BSE maka hasil akan terlihat gelap yang berarti material dengan nomor atom lebih besar dan terang yang berarti material dengan nomor atom lebih kecil.



**Gambar 2.7** Mekanisme Kerja SEM (Listyana, et al. 2016)

## 2.11 Penelitian sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Dharma (2014) menggunakan material resin PTFE (polytetrafluoroethylene) sebagai insulasi, dan RG-2400 sebagai lapisan coating. Pipa yang digunakan pada penelitian ini adalah carbon steel pipe, grade A106B. Lingkungan pengujian yang dipilih adalah larutan air yang mengandung 100 ppm klorida dengan ph 6 yang disesuaikan menggunakan  $H_2SO_4$  untuk mensimulasikan atmosfer kondensat. Variabel yang digunakan merupakan variasi temperatur kerja dan variasi perlakuan permukaan baja.

Kondisi pengujian yang dipilih adalah Isothermal pada 150°F dan siklus basah/kering, dimana permukaan pipa dijaga pada temperature 150°F (basah) selama 20 jam dan temperatur 250°F (kering) selama 4 jam. Variasi perlakuan yang diberikan adalah tanpa perlakuan, pre-corroded. Pre-corroded dilakukan dengan memasukkan pipa ke dalam ketel yang berisi larutan uji selama 3 hari, untuk memperoleh korosi awal sebagai



pembandingan untuk pengujian weightloss. Laju korosi juga dihitung menggunakan polarisasi resisten. Pengukuran dilakukan setiap 20 menit selama 3 hari.

**Tabel 2.6** Kondisi pengujian CUI (Dharma, 2014)

Environment:	100 ppm Cl <sup>-</sup> Initial	pH adjusted to 8.0	(with 12.504)
Test #	Test Conditions	Steel Surface Conditions	
		WE1 -	WE2 +†
1	isothermal (150°F)	as machined	as machined/coating A
2	three wet/dry (150°F/250°F) cycles	as machined	as machined/coating A
3	three wet/dry (150°F/250°F) cycles	pre-corroded	pre-corroded/coating A

**Tabel 2.7** Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian polarisasi resisten (Dharma, 2014)

Test Number	Test Conditions	Steel Surface Conditions	Duration	Corrosion	% Efficiency
1	Isothermal (150°F)	as machined	74.0	10.5	83
		w/ coating A	74.0	1.8	
2	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	as machined	72.0	10.0	90
		w/ coating A	72.0	1.0	
3	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	pre-corroded †	70.5	14.0	98
		w/ coating A	70.5	2.0	

**Tabel 2.8** Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian weight loss (Dharma, 2014)

Test Number	Test Conditions	Steel Surface Conditions	Duration	Corrosion	% Efficiency
1	Isothermal (150°F)	as machined	74.0	79.0	65
		w/ coating A	74.0	27.5	
2	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	as machined	72.0	137.0	79
		w/ coating A	72.0	29.3	
3	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	pre-corroded †	142.5	77.2	70
		w/ coating A	142.5	23.5	



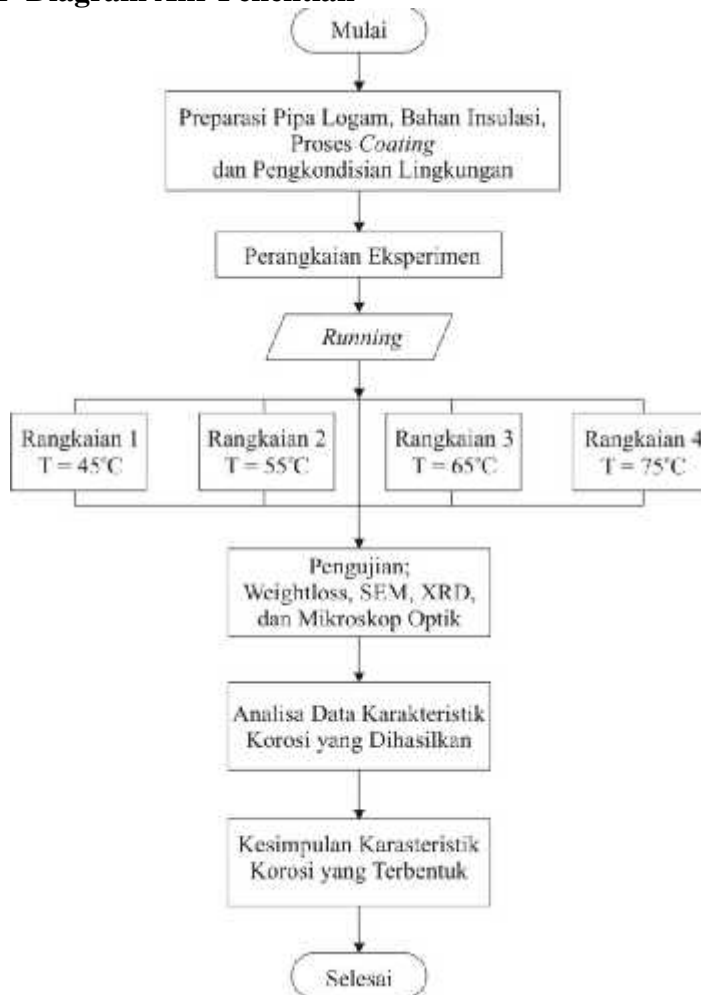
Efisiensi coating dengan pengujian polarisasi pada pipa tanpa perlakuan pada temperature isothermal memperoleh nilai 83% dan pada temperature siklus memperoleh efisiensi sebesar 90%. Sedangkan pada pipa pre-corroded memiliki efisiensi sebesar 86%. Sedangkan pada pengujian weight loss efisiensi yang diperoleh lebih rendah dari pengujian polarisasi. Pada pipa tanpa perlakuan temperature isothermal diperoleh efisiensi sebesar 65% dan pada temperature siklus diperoleh efisiensi sebesar 79%. Pada pipa pre-corroded diperoleh efisiensi sebesar 70%.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Percobaan



## 3.2 Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pipa baja karbon
2. *Rubber* berbasis *coating* + *coating* primer berbasis akrilik
3. Akrilik
4. Glasswool
5. Aluminium foil
6. Lem selotip
7. Fluida Air
8. Lem dextone
9. Box sebagai wadah penampung air.

### 3.2.2 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan ialah sebagai berikut:

1. Gergaji untuk memotong pipa.
2. Gunting untuk memotong glasswool dan aluminium foil.
3. Kompresor dan *spray gun* untuk proses *coating*.
4. Termostat dan *heater* untuk menghasilkan temperatur panas pada fluida.
5. Termometer untuk mengetahui temperatur air.
6. Tank air cadangan sebagai pencegah sistem kekurangan air.
7. Instrumen karakterisasi material yang digunakan adalah:
  - a. *X-ray Diffractometer* (XRD) Philip analytical.
  - b. *Scanning Electron Microscope* (SEM) SEM FEI Inspect S 50.
  - c. Mikroskop Optik Olympus BX51M.

## 3.3 Spesifikasi Bahan Penelitian

### 3.3.1 Pipa baja karbon

Komposisi baja karbon yang dipakai adalah seperti yang disebutkan dibawah ini:

---





**Tabel 3.1** Spesifikasi dan komposisi baja karbon

<b>D. Luar</b>		<b>Tebal</b>		
60,33 mm		3,91 mm	SCH 40	
<b>%C</b>	<b>%Si</b>	<b>%Mn</b>	<b>%P</b>	<b>%Cr</b>
0,23	0,23	0,47	0,013	0,01
<b>%S</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Cu</b>	<b>%Mg</b>	<b>%Al</b>
0,033	0,018	0,03	0,01	0,001

### 3.3.2 Coating rubber

Spesifikasi *rubber coating* yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Spesifikasi lapisan *coating* rubber

<b>Bahan utama</b>	Polimer Sintetis
<b>Berat jenis</b>	1,05±0,10
<b>Kekentalan (Brookfield)</b>	130,000-180,000 cPs
<b>Tensile strength (ASTM D-412)</b>	1.2-1.5 N/mm <sup>2</sup>
<b>Elongation at break (ASTM D412)</b>	500-600%
<b>Crack Bridging (ASTM D661-86)</b>	pass (crack on concrete)

### 3.3.3 Glaswool

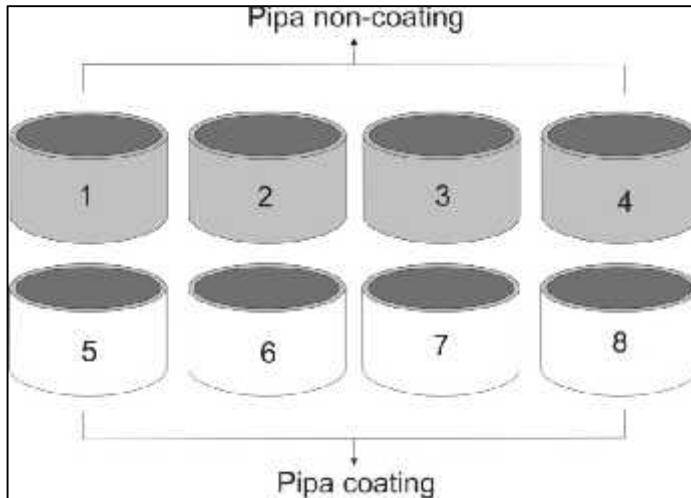
Spesifikasi glasswool yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.3** Spesifikasi Glasswool

<b>Ukuran roll</b>	<b>Tebal</b>	<b>Densitas</b>
1,2 x 30 m	25 mm	24 kg/mm <sup>3</sup>



### 3.4 Metode Penelitian



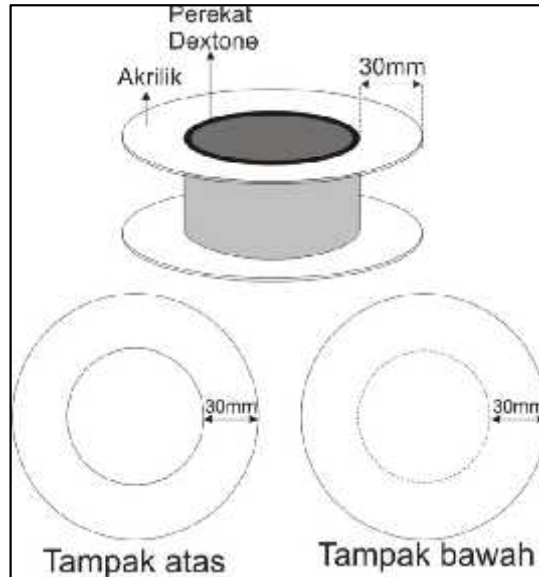
**Gambar 3.2** Preparasi pipa

#### 3.4.1 Preparasi Pipa

1. Pemotongan pipa baja karbon berdiameter 60 mm dengan panjang 30 mm, sebanyak delapan potong.
2. Setiap pipa di bersihkan permukaannya dengan kertas abrasive.
3. Empat pipa di biarkan dalam kondisi *bare* atau tanpa *coating*, sedangkan empat pipa lainnya di *coating* dengan cat primer akrilik dan cat rubber.
4. Bagian permukaan dalam pipa ditutup sempurna dengan dextone agar tidak terkorosi.
5. Setiap pipa di timbang tujuannya agar dapat dihitung selisih berat sebelum dan sesudah pipa diuji. Selisih berat ini digunakan untuk perhitungan laju korosi dengan metode weightloss.
6. Empat pipa di perlakukan tanpa *coating*, empat pipa di *coating* dengan ketebalan 0,2-0,3mm. Proses *Coating* di lakukan dengan metode *spray* dengan menggunakan kompresor dan

*spray gun*. Jenis cat yang digunakan adalah *rubber coating* dengan *coating* primer akrilik. Proses *coating* dilakukan seteliti mungkin agar memiliki ketebalan yang rata.

7. Pada tiap pipa di tempelkan akrilik pada kedua sisinya dengan bantuan lem perekat dextone.



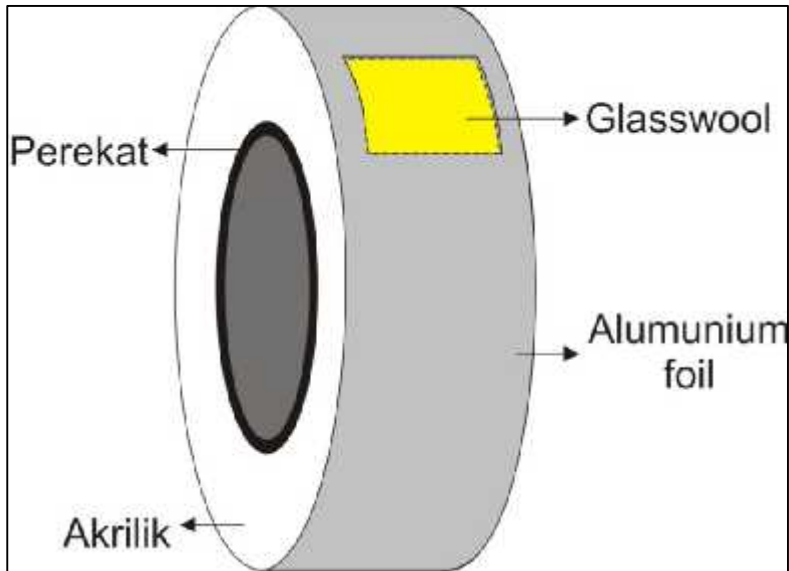
**Gambar 3.3** Perekatan pipa dengan akrilik

### 3.4.2 Pembungkusan Pipa dengan Glasswool dan Aluminium Foil.

1. Memotong bahan insulasi glasswool dengan luasan yang sesuai dengan luas permukaan pipa.
2. Merekatkan glasswool yang telah di potong pada permukaan pipa baja karbon.
3. Memotong aluminium foil dengan luasan yang sesuai dengan luas permukaan terluar glasswool.
4. Merekatkan aluminium foil setelah lapisan glasswool



5. Merekatkan insulasi glasswool dan aluminium foil dengan bantuan perekat lem solatip.



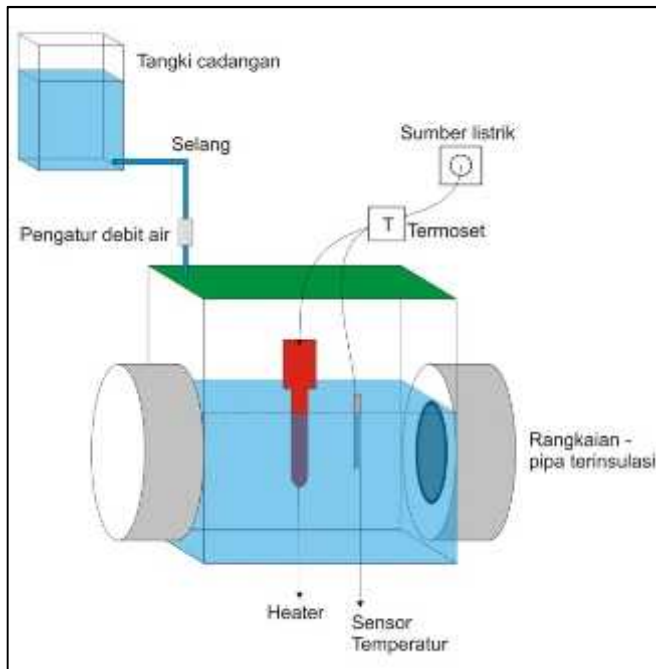
**Gambar 3.4** Proses Insulasi pipa dengan glasswool dan aluminium foil

### 3.4.3 Perangkaian Penelitian

1. Dari ke dua grup yang telah di kelompokkan berdasarkan perlakuan *coating* tadi di ambil satu pipa dari masing masing grup untuk di jadikan rangkaian pipa. Jadi dalam satu rangkaian terdapat satu pipa tanpa *coating* dan satu pipa *coating*.
2. Dalam percobaan ini terdapat empat rangkaian dengan dua pipa berbeda perlakuan *coating* pada masing-masing rangkaian. Kedua pipa ini terhubung dengan box yang terisi fluida air panas dengan temperatur yang berbeda masing



- masing rangkaian, fluida air tersebut bebas bersirkulasi diantara kedua pipa.
3. Air dalam box tersebut di panaskan dengan bantuan alat *heater* dan termoset, sehingga suhu tetap stabil di temperatur yang diinginkan.
  4. Dari keempat rangkaian ini terisi fluida air dengan temperatur yang berbeda-beda. Yaitu 45, 55, 65 dan 75°C.
  5. Rangkaian dijalankan selama empat belas hari.
  6. Setelah empat belas hari, rangkaian di bongkar dan pipa harus seperti kondisi saat proses penimbangan berat awal dilakukan.



**Gambar 3.5** Rangkaian pengujian CUI

### 3.5 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik korosi yang tercipta akibat dari temperatur dan perlakuan *coating* yang



di terapkan. Sehingga akan dilakukan empat pengujian yaitu XRD, SEM, Mikroskop Optik dan Weightloss.

### 3.5.1 X-Ray Diffraction

Penggunaan XRD dalam penelitian kali ini dipergunakan untuk menentukan suatu fasa dan struktur kristal dari material material pipa logam yang di gunakan sebagai material uji dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. pengujian XRD dilakukan setelah pipa baja karbon di uji selama beberapa hari untuk menemukan fasa yang terbentuk dari proses pengkorosian pipa baja karbon.

Pengujian XRD ini hanya dilakukan pada pipa yang dirasa akan mengalami kemungkinan korosi nya tinggi yaitu pipa rangkaian empat tanpa perlakuan *coating*. Pengujian dilakukan hanya pada satu pipa baja karbon karena hasil XRD satu pipa cukup mewakili hasil XRD pipa yang lain. Alat XRD yang digunakan adalah Philip analytical.



**Gambar 3.6** (a)X-ray Diffractometer; (b)Scanning Electron Microscope (SEM)



### 3.5.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Penggunaan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan morfologi dari korosi yang terbentuk pada pipa baja karbon. Morfologi ini digunakan untuk menentukan jenis korosi apa yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon yang terinsulasi setelah di lakukan *running* eksperimen selama empat belas hari.

Spesimen pipa baja karbon yang diuji SEM adalah seluruh pipa baja karbon *non-coating*. Dari hasil pengujian SEM ini dapat di tarik kesimpulan pengaruh temperatur dan tebal lapisan *coating* terhadap jenis korosi yang timbul. Alat *Scanning Electron Microscopic* yang digunakan untuk pengujian SEM FEI Inspect S 50.

### 3.5.3 Mikroskop Optik

Pengujian mikroskop optik ini dilakukan untuk menentukan jenis korosi apa yang timbul pada permukaan pipa baja karbon setelah mengalami periode pengujian selama empat belas hari. Pengujian mikroskop optik ini dilakukan pada semua pipa dengan pengamatan dengan bantuan alat mikroskop optik perbesaran lima puluh kali. Alat yang dipakai adalah Olympus BX51M.

Dengan pengamatan dibawah mikroskop optik ini diharapkan akan diketahui jenis korosi yang timbul pada permukaan pipa.

### 3.5.4 Weightloss

Metode *weightloss* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur laju korosi yang terjadi pada suatu logam. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya berat material yang hilang setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan



massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu logam di biarkan pada suatu kondisi lingkungan korosif selama beberapa waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali setelah dibersihkan dari hasil korosi yang terbentuk, dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Setelah didapat selisih beratnya, dimasukan ke persamaan untuk mendapatkan nilai laju korosi logam yang diuji. Alat timbangan yang digunakan untuk mengukur selisih berat pipa adalah Mettler Toledo ME204E.

Pengujian weightloss ini diujikan pada semua pipa logam setelah periode pengujian selama empat belas hari.

### 3.6 Rancangan Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dari penelitian yang kali ini:

**Table 3.4 Rancangan Pegujian**

No Rangkaian	Perlakuan Coating	Temp. Fluida (°C)	SEM	XRD	Weight loss	Microscope optik
1	Coating	45			✓	✓
	Non-Coating		✓		✓	✓
2	Coating	55			✓	✓
	Non-Coating		✓		✓	✓
3	Coating	65			✓	✓
	Non-Coating		✓		✓	✓
4	Coating	75			✓	✓
	Non-Coating		✓	✓	✓	✓



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Hasil Pengujian *Weightloss*

Dari hasil uji *weightloss* dapat dilihat laju korosi yang terjadi pada spesimen baja karbon yang dilakukan proses *coating* dan *non-coating* setelah dilakukan pengujian selama empat belas hari dengan dengan temperatur 45, 55, 65, dan 75°C.

Pada persamaan untuk mendapatkan laju korosi dari pipa baja karbon, nilai konstanta laju korosi yang digunakan adalah  $8,75 \times 10^4$  dan densitas dari pipa baja karon yang digunakan adalah  $7.84 \text{ gr/cm}^3$ .

Adapun hasil *weightloss* yang didapat setelah perhitungan adalah sebagai berikut; Pipa baja karbon *non-coating* dengan temperatur operasional 45, 55, 65, dan 75 °C secara berturut turut adalah sebesar 0,0905 mm/year, 0,1598 mm/year, 0,1760 mm/year, dan 0,1889 mm/year.

**Tabel 4.1** Hasil Uji *Weightloss* pipa baja karbon *non-coating* dengan variasi temperatur operasi.

Nama pipa	Temp. Fluida (°C)	Selisih berat (gr)	Laju korosi (mm/yr)
NC 1	45	0,1358	0,0905
NC 2	55	0,2325	0,1598
NC 3	65	0,2600	0,1760
NC 4	75	0,2896	0,1889

Keterangan: NC = *Non-coating*.

Dari hasil tersebut dapat dilihat laju korosi yang bertambah seiring dengan adanya peningkatan temperatur.



Semakin tinggi temperatur fluida di dalam pada pipa, maka semakin tinggi pula laju korosinya.

Untuk spesimen baja karbon *coating* dengan temperatur operasional 45, 55, 65, dan 75 °C secara berturut turut laju korosinya adalah sebesar 0,0186 mm/year; 0,0387 mm/year; 0,0578 mm/year; dan 0,0528 mm/year.

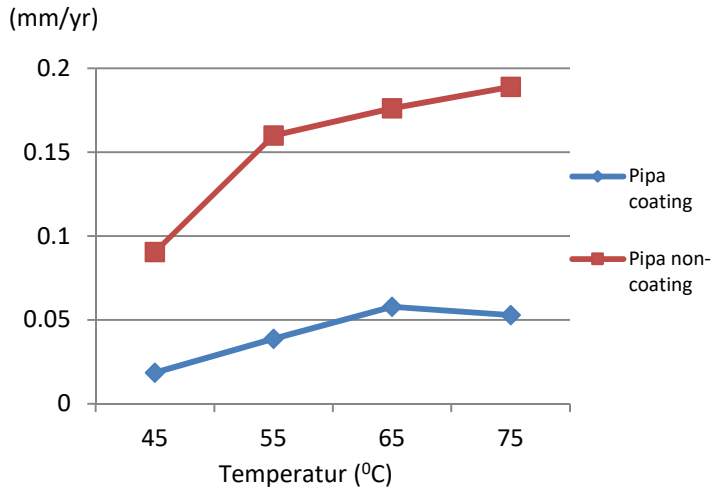
**Tabel 4.2** Hasil Uji *Weightloss* pipa baja karbon *coating* dengan variasi temperatur operasi.

Nama pipa	Temp. Fluida (°C)	Selisih berat (gr)	Laju korosi (mm/yr)
C 1	45	0,0297	0,0186
C 2	55	0,0619	0,0387
C 3	65	0,0886	0,0578
C 4	75	0,0816	0,0528

Keterangan: C = *Coating*

Dari data yang didapat terlihat pengurangan selisih berat yang bertambah seiring dengan adanya peningkatan temperatur. ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur operasi, akan menyebabkan laju korosi yang semakin besar. Pada pipa C3 terjadi kerusakan lapisan *coating* sebagaimana di tunjukan pada pengamatan visual gambar 4.3 (c), sehingga menyebabkan laju korosi yang tidak normal.

Grafik dibawah menyajikan perbedaan laju korosi dari pipa *coating* dan pipa *non-coating* setelah periode eksperimen selama empat belas hari.



**Gambar 4.1** Grafik laju korosi pada pipa *coating* dan *non-coating*.

Pada tabel 4.3 berikut merupakan perbandingan laju korosi pipa *coating* dan *non-coating*. Dengan membandingkan laju korosi pipa *coating* dan pipa *non-coating* maka akan di dapatkan nilai efektifitas *coating*.

**Tabel 4.3** perbandingan laju korosi pipa *coating* dan *non-coating*

Nama Pipa	Temp. Fluida (°C)	Laju Korosi (mm/yr)	Efektifitas Coating
NC 1	45	0,0905	80%
C 1		0,0186	
NC 2	55	0,1598	76%
C2		0,0387	
NC 3	65	0,1760	67%
C 3		0,0578	
NC 4	75	0,1889	72%
C 4		0,0528	



Dalam kasus *corrosion under insulation* kali ini *coating* memiliki pengaruh yang signifikan untuk meredam laju korosi yang timbul pada pipa sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.3 diatas pada temperatur 45, 55, 65, dan 75°C lapisan *coating* yang di gunakan dapat meredam laju korosi sebesar 80%, 76%, 67%, dan 72%.

#### 4.1.2 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik

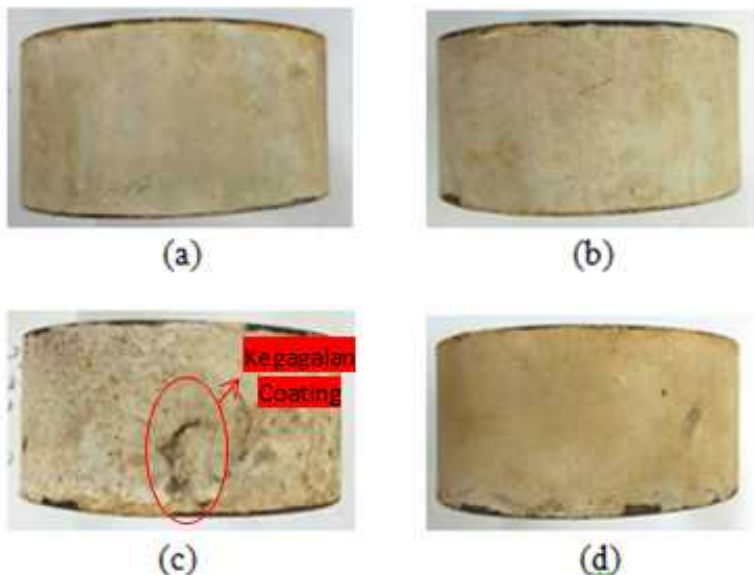
Berikut merupakan hasil pengamatan visual secara makro dari spesimen pipa baja karbon setelah dilakukan pengujian selama empat belas hari seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.2** Kondisi pipa *non-coating*:  
(a) 45 °C; (b) 55°C; (c) 65 °C; (d) 75 °C.

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat foto makro dari permukaan baja karbon yang telah melalui proses pengujian selama empat belas hari. Gambar 4.2 a sampai d berturut-turut menunjukkan hasil korosi pada pipa *non-coating* yang dioperasikan pada temperatur 45, 55, 65, dan 75 °C. Dapat dilihat pada gambar, bahwa semakin tinggi temperatur yang dioperasikan pada pipa baja karbon, maka produk korosi yang timbul semakin banyak dan merata di permukaan pipa.

Sedangkan Gambar 4.3 a sampai d menunjukkan kondisi spesimen pipa baja karbon yang di *coating* dengan lapisan rubber *coating* setelah melalui percobaan selama empat belas hari, dioperasikan pada temperatur 45, 55, 65, dan 75°C.



**Gambar 4.3** Kondisi pipa *coating* setelah pengujian pada pipa:  
(a) 45 °C; (b) 55°C; (c) 65 °C; (d) 75 °C.

Pada umumnya lapisan *coating* yang di berikan pada pipa telah bekerja dengan baik untuk mengurangi timbulnya korosi



pada permukaan pipa, namun pada gambar 4.3(c) menunjukkan adanya kerusakan lapisan *coating* yaitu pada pipa dengan temperatur operasi 65°C.

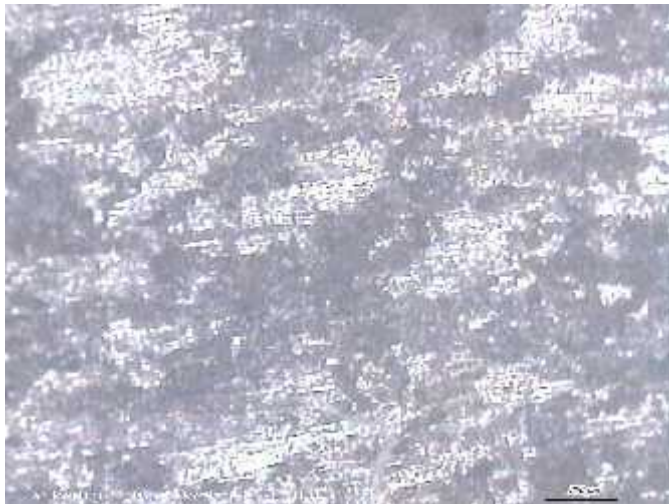
Selanjutnya, permukaan pipa di teliti menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran lima puluh kali untuk mengamati morfologi dari korosi yang timbul di permukaan pipa.. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 sampai 4.11 dibawah ini.



**Gambar 4.4** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *non-coating* 45°C dengan perbesaran 50 x.



**Gambar 4.5** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *non-coating* 55°C dengan perbesaran 50 x.

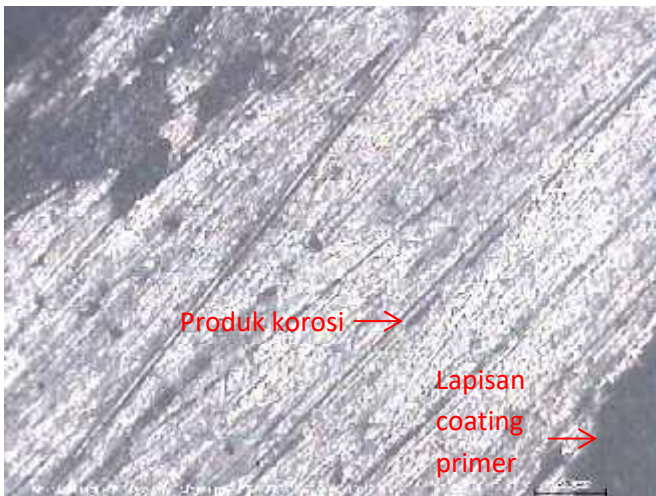


**Gambar 4.6** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *non-coating* 65°C dengan perbesaran 50 x.



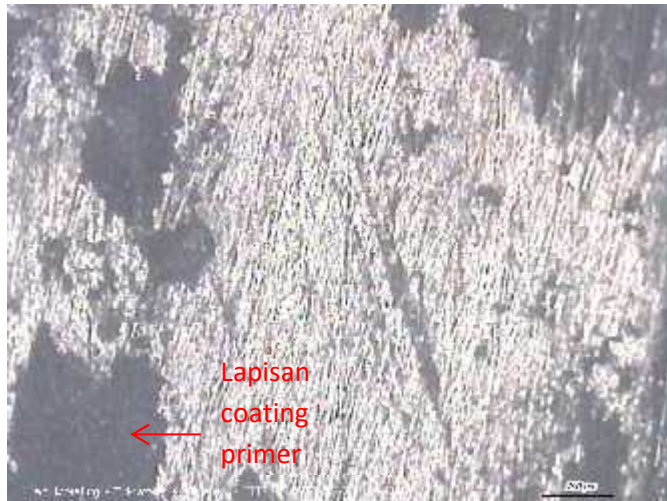


**Gambar 4.7** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *non-coating* 75°C dengan perbesaran 50 x.



**Gambar 4.8** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *coating* 45°C dengan perbesaran 50 x.





**Gambar 4.9** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *coating* 55°C dengan perbesaran 50 x.



**Gambar 4.10** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *coating* 65°C dengan perbesaran 50 x.



**Gambar 4.11** Pengamatan mikroskop optik pada permukaan pipa *coating* 75°C dengan perbesaran 50 x.

Dari gambar diatas dapat di indikasikan bahwa jenis korosi yang timbul pada pipa merupakan jenis *uniform corrosion*, *pitting corrosion* *microbiology corrosion*, dan *stress cracking corrosion*. Untuk memastikan jenis korosi yang timbul, diperlukan pengujian SEM.

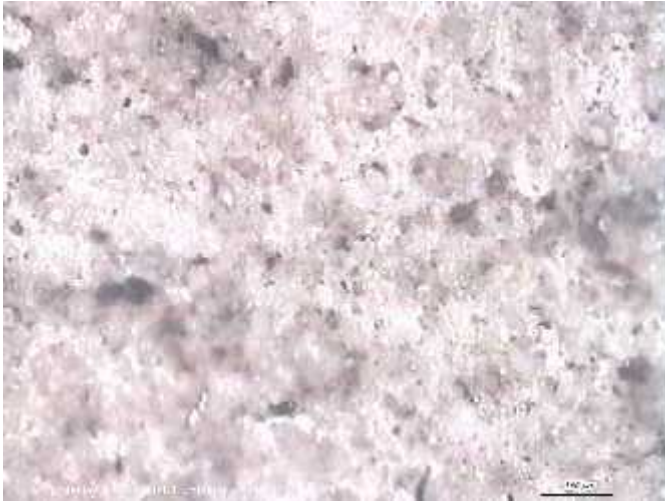
Pada spesimen pipa dengan perlakuan *coating*, masih saja terdapat korosi yang timbul walaupun laju korosinya jauh lebih rendah dari pipa tanpa lapisan *coating*. Ini dikarenakan terdapat kerusakan pada lapisan *coating*. Kerusakan coating ini hanya tampak bila di amati lebih lanjut menggunakan mikroskop optik. Kerusakan lapisan *coating* ini berbentuk seperti lubang pori pada lapisan, seperti yang ditunjukkan gambar 4.12 sampai 4. 15 dibawah.



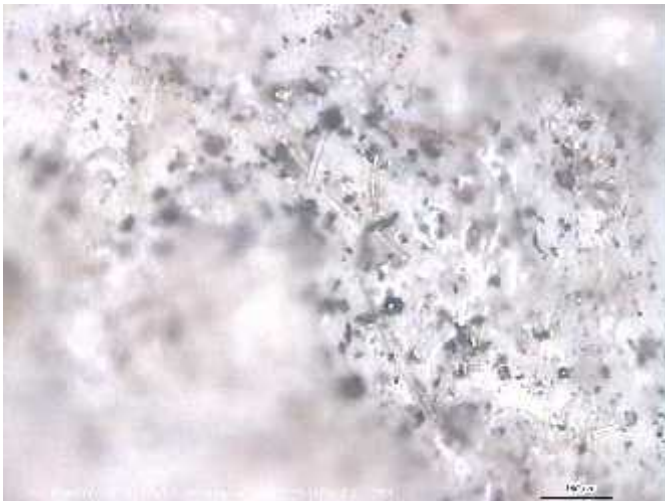
**Gambar 4.12** Kondisi Lapisan Coating 45 °C dengan perbesaran 100 x.



**Gambar 4.13** Kondisi Lapisan Coating 55 °C dengan perbesaran 100 x.



**Gambar 4.14** Kondisi Lapisan Coating 65 °C dengan perbesaran 100 x.



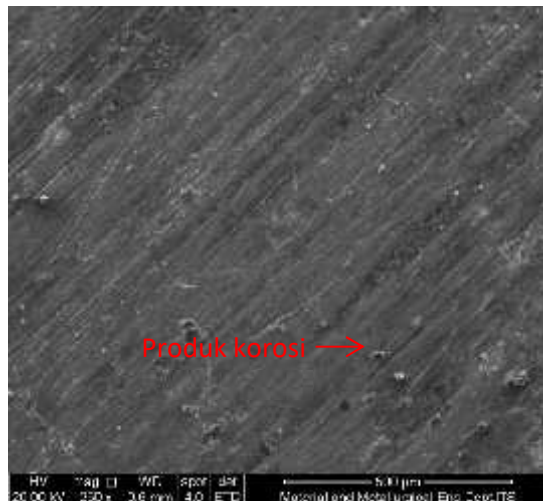
**Gambar 4.15** Kondisi Lapisan Coating 75 °C dengan perbesaran 100 x.



Rusaknya lapisan *coating* ini disebabkan karena pada saat proses *coating* dilakukan, masih terdapat *void* atau ruang kosong yang berisi udara terperangkap diantara permukaan pipa dan lapisan *coating*. Sehingga pada saat dikenai temperatur yang cukup tinggi, udara tersebut mendesak keluar lapisan *coating* dan menyebabkan rusaknya lapisan *coating*, sehingga korosi masih dapat terjadi walaupun laju korosinya jauh lebih kecil dibandingkan dengan pipa yang tidak dilapisi lapisan *coating*.

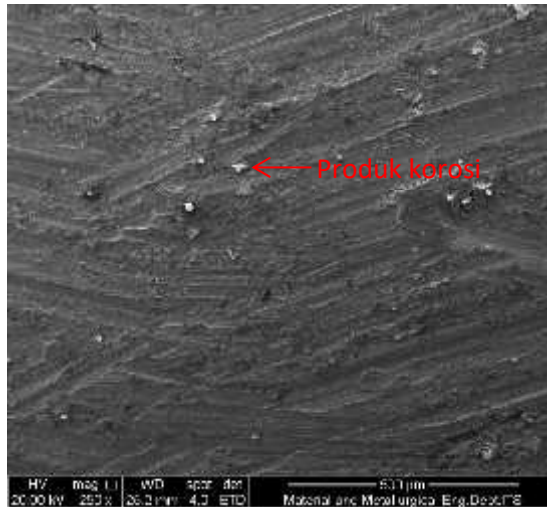
#### 4.1.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope*

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk meneliti morfologi korosi pada permukaan luar pipa. Uji SEM ini dilakukan untuk mengetahui morfologi korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa baja karbon, dengan demikian dapat diketahui jenis korosi yang timbul pada pipa. Gambar 4.16 sampai gambar 4.19 dibawah menunjukkan hasil uji SEM pada permukaan luar pipa baja karbon *non-coating*.

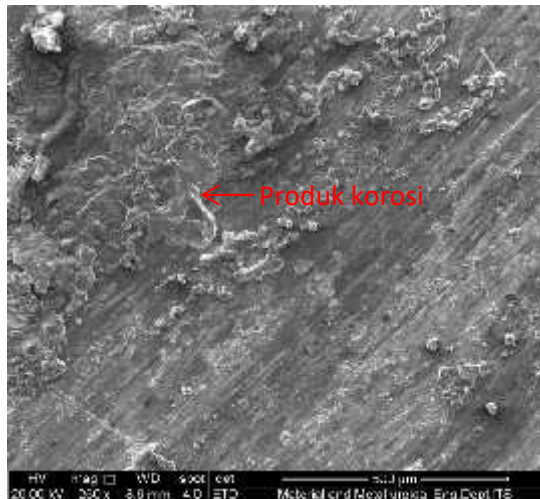


**Gambar 4.16** Hasil Uji SEM pipa *non-coating* 45 °C perbesaran 250x.

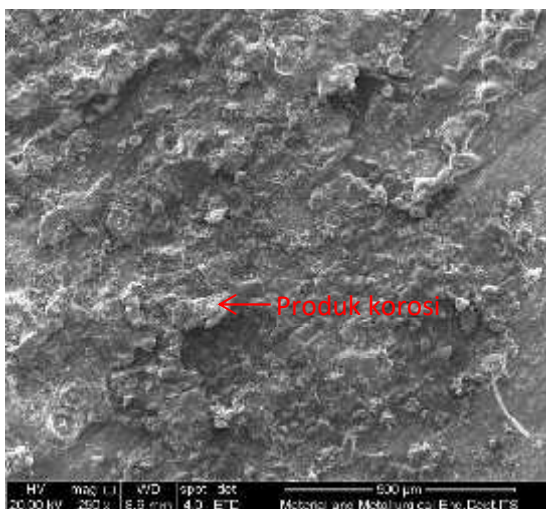




**Gambar 4.17** Hasil Uji SEM pipa *non-coating* 55 °C perbesaran 250x.



**Gambar 4.18** Hasil Uji SEM pipa *non-coating* 65 °C perbesaran 250x.



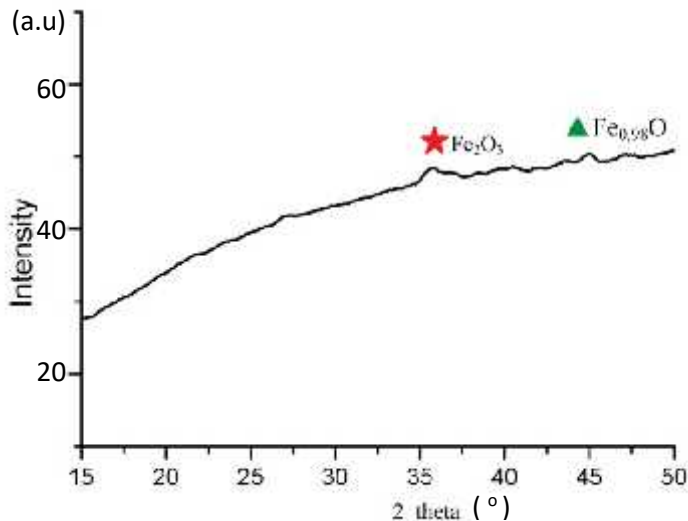
**Gambar 4.19** Hasil Uji SEM pipa *non-coating* 75 °C perbesaran 250x.

Dari gambar 4.16 sampai 4.19 diatas dapat dilihat perbedaan nya bahwa variasi temperatur mempengaruhi korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa. Pada pipa dengan temperatur operasi 45°C persebaran produk korosi yang timbul dapat dikatakan renggang sekali. Semakin meningkatnya temperatur fluida yang di operasikan pada pipa maka produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa baja karbon akan semakin merata dan semakin banyak.

Dalam penelitian kali ini, diindikasi terdapat empat jenis korosi yang terbentuk yaitu *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *microbiology corrosion*, dan *stress cracking corrosion*. Namun, dalam pengamatan setelah pengujian SEM ini hanya *uniform corrosion* yang muncul pada permukaan pipa. Setelah melihat hasil dari pengujian *Scanning Electron Microscopic* ini, dapat disimpulkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa merupakan jenis *uniform corrosion*.



#### 4.1.4 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)



**Gambar 4.20** Grafik hasil uji XRD pipa baja karbon pada temperatur operasional fluida 75°C.

Hasil yang di dapat pada pengujian ini berupa sudut hamburan (2 ) dari sinar x dengan intensitas yang di presentasikan dalam bentuk grafik. Pada gambar 4.20 menunjukkan grafik hasil pengujian XRD permukaan pipa yang di operasikan temperatur fluida alir 75°C. Adanya *peak* yang timbul mengindikasikan bahwa terbentuk senyawa baru setelah dilakukan pengujian dengan variasi temperatur fluida dalam pipa. Analisa hasil XRD dilakukan dengan menggunakan *software* JADE untuk mengetahui senyawa pada peak tertinggi hasil pengujian XRD.

Hasil analisis pada gambar 4.20 menunjukkan pada permukaan pipa dengan temperatur operasi 75°C senyawa baru yaitu *Maghemite-C, syn* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan sudut 2 sebesar 35.5820° dan intensitas sebesar 96,16%. Dan senyawa *iron oxide* ( $\text{Fe}_{0.98}\text{O}$ ) dengan sudut 2 sebesar 44,0647° dan intensitas sebesar 47.81%.





## 4.2 Pembahasan

Pada hasil pengujian *weightloss* dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur fluida dalam pipa berpengaruh meningkatkan tren laju korosi pipa baja karbon dengan di buktikan pada pengujian *weightloss* pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Dari kedua hasil tersebut menunjukkan adanya kenaikan laju korosi dalam setiap kenaikan temperatur fluida, dan peredaman laju korosi yang signifikan ketika pipa dikenakan proses *coating* dengan menggunakan lapisan *rubber coating*.

Hasil pengujian *weightloss* ini sejalan dengan teori pada NACE International yang mengatakan bahwa peningkatan temperatur biasanya diikuti oleh peningkatan laju reaksi. Temperatur servis antara 32°F dan 212°F (0°C dan 100°C) memungkinkan air masih dalam bentuk cair. Dengan range temperatur tersebut, laju korosi akan naik sampai dua kali setiap kenaikan temperatur 27°F sampai 36°F (15 °C sampai 20 °C).

Saat temperatur meningkat, jumlah oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembaban yang relative tinggi sehingga terjadi pengembunan pada celah antara dua permukaan tersebut. Sehingga bagaimana pun bentuk yang terjadi dibawah insulasi akan memberikan peluang terjadinya proses korosi akibat perbedaan konsentrasi kondisi material baja, dan proses korosinya akan lebih meningkat jika adanya unsur-unsur yang bersifat korosif seperti chloride dan asam belerang dari udara yang berdifusi melalui celah-celah insulasi. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi dengan proses sesuai dengan karakteristik material tersebut (M. Suresh Kumar, 2008).

Pada pipa *coating* dengan temperatur operasi 65°C menunjukkan hasil yang kurang optimal atau error, dikarenakan kegagalan *coating* yang seharusnya melindungi pipa, rusaknya lapisan *coating* ini di tunjukan pada gambar 4.3 (c). Rusaknya lapisan *coating* ini dikarenakan oleh kurangnya pembersihan



substrat pipa saat proses *coating* di lakukan, sehingga lapisan *coating* kurang melekat pada substrat, dan ketika dikenai temperatur yang cukup tinggi maka lapisan *coating* tersebut terkelupas.

Pada semua pipa yang dilapisi *coating* juga masih dapat terjadi korosi yang timbul, hal ini dikarenakan oleh lapisan *coating* yang rusak, namun kerusakan disini berbeda dengan kerusakan yang dialami pipa coating dengan temperatur 65°C. Kerusakan yang dimaksud adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12 sampai 4.15. Pada semua pipa *coating* menjadi berlubang. Lubang tersebut dapat dilihat jika lapisan coating diamati dibawah mikroskop optik dengan tingkat perbesaran tertentu. Lubang ini timbul karena pada saat proses *coating* dilakukan, udara terperangkap diantara permukaan pipa dan lapisan *coating*, yang menyebabkan *void* atau ruang kosong. Pada saat dikenai temperatur yang cukup tinggi, udara tersebut mendesak keluar lapisan *coating* dan menyebabkan lapisan *coating* menjadi berlubang, sehingga korosi masih dapat terjadi walaupun laju korosinya jauh lebih kecil dibandingkan dengan pipa yang tidak dilapisi lapisan *coating*.

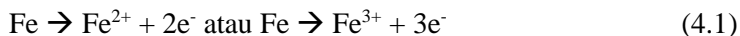
Lalu hasil pengamatan visual pada pipa secara makro (gambar 4.2 & 4.3) dan secara mikro (gambar 4.4 s/d gambar 4.11) menggunakan mikroskop optik dilakukan pada permukaan pipa menunjukan korosi yang timbul pada permukaan pipa merupakan jenis *uniform corrosion*, hasil ini juga diperkuat oleh hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* yang di tunjukan pada gambar 4.16 s/d 4.19. Walaupun pada pipa yang terbungkus insulasi diindikasikan memungkinkan terdapatnya jenis jenis korosi lain seperti *pitting corrosion* dan *stress cracking corrosion*, setelah diamati lebih lanjut dengan pengujian SEM,indikasi tersebut tidak ditemukan, karena pada penelitian kali ini juga tidak ada unsur klorida yang dapat menjadi penyebab dari *pitting corrosion* dan *stress corrosion cracking*.



Namun terdapat perbedaan dalam penyebaran dan kedalaman korosi yang terbentuk seiring dengan variasi temperatur yang di operasikan pada pipa. Seiring bertambahnya temperatur yang di operasikan pada pipa, maka korosi yang terbentuk akan semakin merata dan semakin banyak. Jika dikaitkan dengan hasil XRD, diindikasi produk korosi yang mengendap di permukaan pipa adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Selanjutnya mengenai hasil uji XRD, terbentuknya senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  disebabkan material pipa baja karbon bereaksi dengan oksigen yang terperangkap di dalam sistem insulasi saat proses insulasi pipa berlangsung dengan reaksi sebagai berikut:

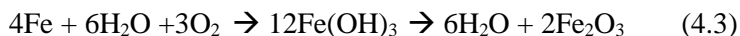
Reaksi oksidasi



Reaksi Reduksi



$\text{OH}^-$  bereaksi dengan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  membentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai produk korosi.



Senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini merupakan senyawa yang intensitasnya tergolong besar, yaitu 96,16% dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $35,5820^\circ$ . Selain itu, senyawa yang muncul pada hasil pengujian XRD adalah senyawa *iron oxide* ( $\text{Fe}_{0,98}\text{O}$ ) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $44,0647^\circ$  dan intensitasnya sebesar 47,81%.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur fluida dalam pipa, maka laju korosi pada permukaan luar pipa yang terinsulasi akan meningkat. Begitupun dengan persebaran dan kuantitas produk korosi yang terbentuk.
2. Pengaruh pelapisan *coating* pada pipa akan menghambat laju korosi sampai 80%. Jenis korosi yang timbul pada permukaan pipa merupakan jenis *uniform corrosion* dengan produk korosi yaitu senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukan penelitian, terdapat beberapa saran yang mungkin dibutuhkan ketika melakukan penelitian lanjutan. Adapun diantaranya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat di aplikasikan temperatur secara siklus, agar resiko terjadinya korosi tergolong ekstreme.
2. Jenis bahan insulasi yang dipakai dapat di ganti dengan bahan lain.
3. Jenis lapisan *coating* ataupun pipa dapat di ganti dengan material berbahan dasar lain.
4. Lingkungan yang dipakai bisa dikondisikan lebih merinci, seperti lingkungan laut.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Dharma Abavarathna, William G. Ashbaugh, Russell D. Kanev. 2015. *"Measurement of Corrosion Under Insulation and Effectiveness of Protective Coating"* CLI International, Inc. Texas.
- A. Jones, Denny. 1996. *"Principles and Prevention of Corrosion"* New York: Mcmillan Publishing Company.
- Bayuseno. A.P. 2012. "Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Air Laut" Semarang.
- Mamish A. L. 2008. *"Tape Coating Sistem For Pipeline Corrosion Protection"* Massachusetts.
- M. Suresh Kumar, M. Sujata, M. A. Venkataswamy, S.K. Bhaumik. 2007. *"Failure Analysis of a Stainless Steel Pipeline"*. *Engineering Failure Analysis* 15 (2008) 497–504.
- M. Syahril. 2005. "Fenomena Korosi dibawah Isolasi Panas pada Material TP-321 Pipa Uap Hidrogen".
- NORSOK Standard. 1999. *"Piping and Equipment Insulation"* Norway.
- Pawlowski, Lech . 2008. *"The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition"*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Prawara, B. 2006. "Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem *Hight Velocity Oxygen*." Kegiatan: 4977.0127: Rekayasa Peralatan.
- R. Soeren Nyborg. 2015. *"Corrosion Under Insulation (CUI) and the Insulation Sistem"* Jubail.
- Standard Recommended Practice. 1998. *"The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials"* Texas. NACE International.

- S. Winnik. 2016. “*Corrosion-Under-Insulation (CUI) Guidelines: Revised Edition*” Cambridge: Elsevier.
- T. Charng. 1982. “*Review of Corroion Causes and Corrosion Control In a Technical Facility*”.
- Thermal Insulation Handbook. 2001. “*Thermal Insulation Handbook*” South Africa: The Thermal Insulation Association of Southern Africa.
- W.J Batty. 2006. “*Corrosion Under Insulation.*” *Applied Energy* 16 (1984) 239-247.
- Susan Caines, Faisal Khan, John Shirokoff, Wei Qiu. 2014. “*Experimental design to study corrosion under insulation in harsh marine environments*”. Elsevier Ltd. Canada.



## LAMPIRAN

### 1. Perhitungan Weightloss

No pipa	Temp .	Luas area (cm <sup>2</sup> )	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	selisih berat (gr)	Laju Korosi (mm/yr)
C1	45	54.1415	150.8164	150.7867	0.0297	0.0186
NC1		50.722	142.8853	142.7495	0.1358	0.0905
C2	55	54.1415	151.6626	151.6007	0.0619	0.0387
NC2		49.2022	137.0664	136.8339	0.2325	0.1598
C3	65	51.8618	146.5603	146.4717	0.0886	0.0578
NC3		49.9621	140.2499	139.9899	0.2600	0.1760
C4	75	52.2418	146.2863	146.2047	0.0816	0.0528
NC4		51.8618	146.2605	145.9709	0.2896	0.1889

D in (cm)	5.31
D out (cm)	6.05
Konstanta	87500
Density (gr/cc)	7.840
Waktu (jam)	330

No Pipa	Panjang (cm)	luas permukaan (pipa luar)
C1	2.8500	54.1415
NC1	2.6700	50.7220

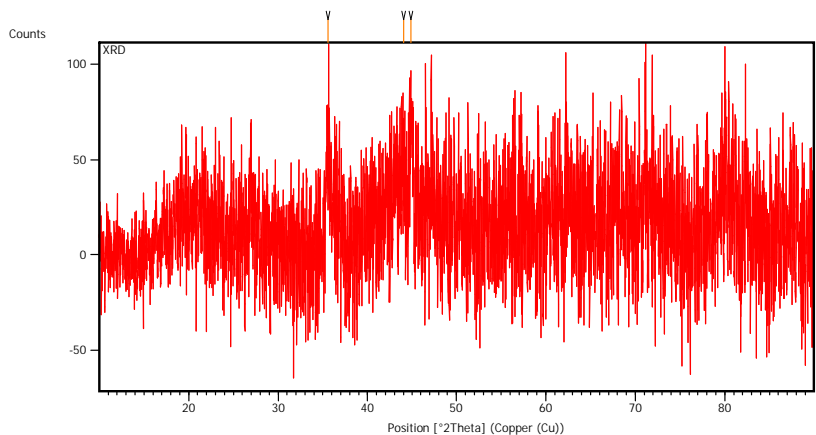
C2	2.8500	54.1415
NC2	2.5900	49.2022
C3	2.7300	51.8618
NC3	2.6300	49.9621
C4	2.7500	52.2418
NC4	2.7300	51.8618

## 2. Perhitungan efektifitas Coating

$$\text{Efektifitas Coating} = \frac{L_k N - L_k C}{L_k N} \times 100\%$$

No pipa	Laju Korosi (mm/yr)	Efektifitas Coating
C1	0.0186	80%
NC1	0.0905	
C2	0.0387	76%
NC2	0.1598	
C3	0.0578	67%
NC3	0.1760	
C4	0.0528	72%
NC4	0.1889	

### 3. Hasil Pengujian XRD



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.5820	54.62	0.4015	2.52314	96.16
44.0647	27.16	0.4684	2.05512	47.81
44.8497	56.80	0.4015	2.02096	100.00

#### 4. PDF Card

##### a. Peak 1

PDF#39-1000: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown; T=(Unknown)

Iron Oxide

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Radiation-CuKα1 Lambda=1.5406 Filter-

Calibration- d-Tutor/- L/1c(RIR)-

Ref- Level 1 PDF

Hexagonal(Primitive) 7=3 mp=

Cell 2.901x2.901x7.532<90x90x120> Pearson

Density(g)=6.410 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref- Ibid.

Strong Line: 2.08/X 2.38/8 2.52/8 1.45/5 1.51/5 1.26/2 1.29/2

d(A)	I(f)	I(v)	h	k	l	n <sup>2</sup>	2 Theta	Theta	1/(2d)	2pi/d
2.517	88.0	66.0	0	0	3		35.640	17.020	0.1906	2.4963
2.376	88.0	70.0	1	0	1		37.833	18.917	0.2184	2.6444
2.078	100.0	100.0	1	0	2		43.516	21.758	0.2406	3.0237
1.510	50.0	60.0	1	0	4		61.344	30.672	0.3311	4.1611
1.449	50.0	72.0	1	1	0		64.220	32.110	0.3451	4.3362
1.290	20.0	32.0	1	0	5		73.327	36.664	0.3876	4.8707
1.250	20.0	33.0	1	1	3		75.513	37.756	0.3975	4.9940

## b. Peak 2

PDF#39-1346: QM-Star/Calculated; d-Other/Unknown; I-(Unknown)

Magnetite-C, syn

Fe2O3

Radiation-CuK $\alpha$ 1 Lambda=1.5406 Filter-

Calibration- d-cutoff- I/Ic(RIR)-1.4

Ref- Level-1 PDF

Cubic, P4132(213) Z=10.667

mp-

Cell=8.351x8.351x8.351<90x90x90>

Pearson-

Density(c)=4.90 Density(m)- Mwt-

Vol-

Ref- Ibid.

Strong Line: 2.52/X 2.95/4 1.48/3 1.61/2 2.09/2 1.70/1 1.09/1 1.27/1

d(Å)	I(°)	I(v)	h	k	l	n <sup>2</sup>	2-Theta	Theta	1/(2d)	2pi/d
5.910	5.0	2.0	1	1	0	2	14.950	7.479	0.0845	1.0617
4.822	4.0	2.0	1	1	1	3	18.384	9.192	0.1037	1.3030
3.740	5.0	3.0	2	1	0	5	23.771	11.886	0.1337	1.6800
3.411	5.0	4.0	2	1	1	6	26.102	13.051	0.1466	1.8420
2.953	35.0	30.0	2	2	0	8	30.241	15.120	0.1693	2.1277
2.784	2.0	2.0	2	2	1	9	32.124	16.062	0.1796	2.2569
2.643	2.0	2.0	3	1	0	10	33.882	16.941	0.1891	2.3769
2.517	100.0	100.0	3	1	1	11	35.630	17.815	0.1986	2.4956
2.411	3.0	3.0	2	2	2	12	37.249	18.625	0.2073	2.6051
2.316	1.0	1.0	3	2	0	13	38.847	19.423	0.2159	2.7126
2.232	1.0	1.0	3	2	1	14	40.377	20.189	0.2240	2.8150
2.088	16.0	19.0	4	0	0	16	43.284	21.642	0.2394	3.0003
2.025	1.0	1.0	4	1	0	17	44.703	22.352	0.2469	3.1020
1.968	1.0	1.0	3	3	0	18	46.071	23.036	0.2540	3.1919
1.822	2.0	3.0	4	2	1	21	50.007	25.003	0.2744	3.4479
1.764	10.0	15.0	4	2	2	24	53.733	26.866	0.2933	3.6862
1.670	1.0	2.0	4	3	0	25	54.924	27.462	0.2993	3.7617
1.637	1.0	2.0	5	1	0	26	56.106	28.053	0.3053	3.8361
1.607	24.0	30.0	5	1	1	27	57.271	28.636	0.3111	3.9092
1.550	1.0	2.0	5	2	0	29	59.560	29.784	0.3224	4.0518
1.524	2.0	3.0	5	2	1	30	60.685	30.342	0.3279	4.1207
1.475	34.0	50.0	4	4	0	32	62.925	31.463	0.3380	4.2575
1.453	1.0	2.0	4	4	1	33	63.994	31.997	0.3439	4.3222
1.432	1.0	2.0	5	3	0	34	65.072	32.536	0.3491	4.3871
1.391	1.0	2.0	4	4	2	36	67.201	33.601	0.3592	4.5141
1.373	1.0	2.0	6	1	0	37	68.253	34.126	0.3642	4.5762
1.354	1.0	2.0	6	1	1	38	69.305	34.653	0.3691	4.6381
1.320	3.0	6.0	6	2	0	40	71.376	35.688	0.3787	4.7585

### c. Peak 3

PDF# 0606; Q# Doubtful(?); d-Other/Unknown; I=(Unknown)  
Iron Carbide

FeC

Radiation-CuK $\alpha$  Lambda=1.5406

Filter-

Calibration- d Cutoff-

1/1:(RIR)-

R<sub>int</sub>- Level: 1.00-

(Unknown)(Unknown)

Z-

mp-

Cell- Pearson-

Density(g/cm<sup>3</sup>)- Density(m)-

Ref-

Vol-

Ref- Irid.

Strong Line: 2.0278 2.1275 2.2678 2.2878 2.8878 2.9778 2.9878 2.9878

d(Å)	I(f)	I(v)	h	k	l	n <sup>2</sup>	2-Theta	Theta	1/(2d)	2pi/d
2.255	75.0	71.0				19.947	19.974	0.2217	2.7863	
2.119	45.0	44.0				42.642	21.316	0.2360	2.9652	
2.010	100.0	100.0				44.926	22.463	0.2480	3.1107	
1.885	30.0	34.0				58.523	29.261	0.2770	3.4618	
1.719	15.0	18.0				53.243	26.622	0.2989	3.6551	
1.599	15.0	22.0				69.608	34.804	0.3386	4.1577	
1.283	55.0	59.0				79.628	39.814	0.4256	5.2229	
1.169	30.0	52.0				82.435	41.218	0.4277	5.3748	
1.151	25.0	44.0				84.815	42.407	0.4344	5.4589	
1.106	25.0	44.0				84.866	42.444	0.4364	5.4827	
1.138	10.0	18.0				85.948	42.974	0.4425	5.5683	
1.114	10.0	18.0				87.491	43.745	0.4488	5.6482	



## 6. Dokumentasi



1. Preparasi Pipa.



2. Pengukuran Dimensi Pipa.





3. Penimbangan berat pipa.



4. Perekatan Akrilik pada pipa *non-coating*.



5. Perekatan Akrilik pada pipa *coating*.



6. Pemasangan bahan insulasi.



7. Perangkaian Eksperimen.

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Sampang pada tanggal 7 November 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Hadiaman Santoso dan Musrifatun Fadilah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Sudirman 6 Cimahi, SMPN 3 Cimahi, dan SMAN 13 Bandung. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Selain itu penulis sempat aktif sebagai Asisten Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LTD. pada bulan Juli-Agustus 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Analisis Desain Proteksi Katodik Metode ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) Sales Gas Pipeline PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LTD. Dari Area OPF Menuju PT. PJB”.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan berjudul “Analisa Pengaruh Temperatur Fluida dan Lapisan Rubber Coating Terhadap Karakteristik Korosi Pada Pipa Baja Karbon yang Terinsulasi Bahan Glasswool dan Aluminium Foil”.

*Email: mnaufaliqbal07@gmail.com*